

Anssi Kimari

AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN ALUEELLISESSA MATALALÄMPÖVERKOSSA

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Toukokuu 2012




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 9.5.2012	
Tekijä(t) Anssi Kimari		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka	
Nimeke Aurinkoenergian hyödyntäminen alueellisessa matalalämpöverkossa			
Tiivistelmä <p>Työn päättävöitteena oli tutkia aurinkoenergian hyödyntämistä lämmitysjärjestelmässä, jossa asuinalueen päälämmitysenergia tuotetaan keskitetysti maalämmöllä ja lämpö jaetaan matalalämpöverkostoa pitkin asunnoille. Aurinkoenergiaa pyritään hyödyntämään lämmönjakeluverkoston veden lämmittämässä. Työn esimerkki-/tarkastelukohteena käytettiin Jyväskylän vuoden 2014 asuntomessualueen omakotitalo-tonttialuetta. Kaikki asuinalueen 37 matalaenergiaomakotitaloa oletettiin samankokoisiksi. Jokaisen talon lämminkäyttövesi lämmitetään asutokohtaisessa lämmönsiirrin - varaaja -yhdistelmälaiteessa, jossa tuotetaan lisäksi asutokohtaisesti lattialämmityksessä kiertävä lämmitysvesi. Työssä ei käsitelty aurinkosähköä eikä kustannusrakennetta.</p> <p>Työ koostuu pääasiassa laskutoimituksista taulukoineen sekä teoriaosuudesta. Lisäksi työssä on kahden aurinkoenergia-alan asiantuntijan mietteitä aurinkoenergian hyödyntämisestä lämmityksessä nykyään. Työssä selvitettiin aluksi asuinalueen lämmitysenergian tarpeet koko vuodelle sekä kesäajalle. Tämän jälkeen pystyttiin mitoittamaan päälämmöntuottojärjestelmä, johon kuuluu pääasiassa maalämpöpumppu, lämpökaivot sekä varaaja. Viimeisenä laskettiin aurinkokeräimien lämpöenergian tuotot sekä lämmön-siirtoaineen virtaamat erikokoisille aurinkokeräinpinta-aloille.</p> <p>Tuloksista selviää, että aurinkokeräimet ja lämpökaivot vaativat paljon vapaata ja avonaista tilaa tämän kokoisessa lämmityskohteessa. Auringonenergiaa voidaan hyödyntää lämmönjakeluverkoston puolella, mutta aurinkokeräinpinta-alat nousevat useisiin kymmeniin neliömetreihin, jopa sataan neliömetriin. Eri vuodenaajat aiheuttavat ongelmia sekä antavat aiheita uusien ratkaisujen etsimiseen. Lopullisiin tuloksiin muodostui suuret vaihteluvälit, joka selittyy järjestelmän ja kohdealueen usealla muuttujalla.</p>			
Asiasanat (avainsanat) Aurinkokeräimet, maalämpöpumppu, aurinko, mitoittaminen			
Sivumäärä 39+5	Kieli Suomi	URN	
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Jarmo Tuunanen		Opinnäytetyön toimeksiantaja One1 Oy/PP Kiinteistötekniikka Oy	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 9.5.2012	
Author(s) Anssi Kimari		Degree programme and option Building Services	
Name of the bachelor's thesis Solar energy utilization in the regional low-temperature line			
Abstract <p>The main goal at this work was explore the solar energy utilization in the heating system where main heating energy of residential area is produced with centralized geothermal heat and the heat is delivered along low-temperature line to the apartments. Attempts are made to utilize solar energy when heating water of heat distribution line. This work used the detached houses of the 2014 apartment fair area in Jyväskylä as an example-/analysis target. All 37 low-energy houses of residential area were assumed to be the same size. The warm water of each house is warmed in the housing-specific combination device of heat exchanger-accumulator where also the housing-specific warming circulation water of floor heating is produced. This work did not cover solar electricity neither the expenses.</p> <p>This work mostly consists of calculation with tables and the theoretical part. In addition work includes thoughts of two specialist of solar energy sector about solar energy utilization in the nowadays heating. First, the heating energy needs of residential area were found out for the whole year and at the summer time. After this it was possible to size the main heat producing system which includes mainly geothermal pumps, heat wells and accumulator. Finally, heat energy production of solar collectors and flows of heat exchange liquid at the different sized areas of solar collectors were calculated.</p> <p>The results show that solar collectors and heat wells need a lot of free and open space at this size of heating object. Solar energy can be utilized in the heat distribution line but areas of solar collectors rise up to tens of square meter, even one hundred square meter. Different times of year caused problems and give reasons of finding new solutions. The final results consist of large range because the system and the target area have so many variables.</p>			
Subject headings, (keywords) Solar collectors, geothermal heat pump, solar, sizing			
Pages 39+5	Language Finnish	URN	
Remarks, notes on appendices			
Tutor Jarmo Tuunanen		Bachelor's thesis assigned by One1 Oy /PP Kiinteistötekniikka Oy	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	LÄHIENERGIAMALLI	1
3	KOHTEEN ESITTELY	2
4	MAALÄMPÖ	3
4.1	Yleistä maalämmöstä.....	3
4.2	Lämpökaivon suunnittelu ja rakenne.....	5
4.3	Lämmönsiirtoaineet	7
4.4	Maalämpöpumppu	8
5	AURINKOENERGIA.....	9
5.1	Yleistä aurinkoenergiasta.....	9
5.2	Aurinkolämmön keräintekniikat	10
5.2.1	Tasokeräimet.....	11
5.2.2	Tyhjiöputkikeräimet.....	12
5.2.3	Kytkentämallit useammalle keräimelle.....	13
6	HAASTATTELUT	14
7	KÄYTETTÄVÄ LAITTEISTO.....	15
8	LASKELMAT.....	17
9	MITOITTAMINEN	21
9.1	Maalämpöpumput	21
9.1.1	Täystehomitoitus.....	21
9.1.2	Osatehomitoitus	22
9.2	Lämpökaivot	23
9.3	Puskurivaraajan mitoitus	27
9.3.1	Mitoitustapa 1	27
9.3.2	Mitoitustapa 2	28
9.4	Aurinkokeräimet	29
10	TULOKSET	31
11	AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN KOHTEESSA.....	34
11.1	Tasokeräimet maanpinnalla	34
11.2	Tasokeräimet talojen katoilla.....	35

12 JOHTOPÄÄTÖKSET	36
LÄHTEET	39
LIITE 1: Toteutusluonnos asemakuvasta (1)	
LIITE 2: Haastattelun kysymykset (2)	
LIITE 3: SAVOSOLAR SF 100 - 03 hyötysuhde- ja tehokäyrät (2)	

Symboliluettelo

$A_{aurinkokeräin}$	aurinkokeräimien pinta-ala (m ²)
A_{huone}	huoneistopinta-ala (m ²)
$A_{kosteat\ tilat}$	talon kosteiden tilojen pinta-ala (m ²)
b	varaajatilavuus henkilöä kohden (l/henk.)
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kg°C)
f	aurinkokeräimen tuottama lämpöenergiämäärä yhdelle neliömetrille (kWh/m ²)
l_{keruu}	keruuputken pituus (l)
$n_{henk.}$	henkilöiden lukumäärä
$n_{lämpökaivo}$	lämpökaivojen lukumäärä (kpl)
n_{talo}	talojen lukumäärä (kpl)
o	aurinkokeräimille menevä virtaama yhdelle neliömetrille (l/hm ²)
$Q_{aurinkokeräin}$	aurinkokeräimien tuottama lämpöenergiämäärä vuodessa (kWh)
$Q_{asuinalue}$	asuinalueen lämmitysenergian tarve (MWh)
$Q_{häviöt,jakeluverk.+l.siirt.}$	jakeluverkoston ja talokohtaisten lämmönsiirtimien lämmitysenergiähäviöt (kWh)
Q_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve (kWh)
$Q_{lämmitys}$	rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)
$Q_{lämmitysneliömetri}$	rakennuksen kuluttama lämpöenergia yhdelle neliömetrille (kWh/m ²)
$Q_{lämpökaivo}$	lämpökaivosta saatava lämpöenergiämäärä (MWh)
$Q_{lämpökaivometri}$	lämpökaivosta saatava lämpöenergiämäärä yhdelle metrille (kWh/m)
Q_{talo}	lämpimän käyttöveden + rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)
$Q_{kosteat\ tilat}$	talon kosteiden tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)
$Q_{lkv+kosteat\ tilat,kesä}$	asuinalueen kosteiden tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian tarve kesäaikana (kWh)
$q_{v,aurinkokeräimet}$	aurinkokeräimille menevä virtaama (l/h)

r	keruuputken sisäsäde (m)
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila (°C)
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila (°C)
u	varaajan tilavuus yhtä aurinkokeräimen neliömetriä kohden (l/m ²)
$V_{keruupiiri}$	keruupiirin tilavuus (m ³)
$V_{varaaja,asunnot}$	asuinalueen asuntokohtaisten varaajien yhteistilavuus (l)
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus (m ³)
$V_{puskurivaraaja}$	lämmitysverkoston puskurivaraajan tilavuus (l)
$V_{varaaja,kok.}$	varaajan kokonaistilavuus (l)
z	osuus täysteho maalämpöpumpusta (%)
ρ_v	veden tiheys (1000 kg/m ³)
$\phi_{täysteho,mlp}$	täystehomitoitetun maalämpöpumpun teho (kW)
$\phi_{osateho,mlp}$	osatehomitoitetun maalämpöpumpun teho (kW)

1 JOHDANTO

Työn päätavoitteena on tutkia aurinkoenergian hyödyntämistä maalämmön yhteydessä. Työssä tuodaan esille uutta ajattelutapaa pienen asuinalueen lämpöenergian tuotantoon ja rakentamiseen, määräyksien sekä asiakkaiden vaatimusten kiristyessä. Työ on toteutettu kirjallisuustutkimusluonteisesti, eikä työn esimerkkikohdetta tulla sellaiseen toteuttamaan.

Työssä käytetään tarkastelukohteena Jyväskylään vuonna 2014 rakennettavaa Äijälänrannan asuntomessualueen 37 pientalotontin asuinaluetta. Oletuksena on, että matalaenergia taloissa tulee olemaan vesikiertoinen lattialämmitys ja asuntokohtaiset lämmönsiirtimet. Alueen lämpöenergia tuotetaan maalämpöpumpuilla, jotka keräävät energian useista lämpökaivoista. Järjestelmä tulee sisältämään varaajan ja matalalämpöjako- ja lämmitysverkoston, jolla lämpöä jaetaan kiinteistöihin.

Maalämmön ohessa tullaan hyödyntämään aurinkoenergiaa, jota on tarkoitus hyödyntää mahdollisimman paljon. Työ tulee tuomaan esille myös aurinkoenergian hyödyntämiseen liittyviä ongelmia sekä asioita, mitä tulee ottaa huomioon, kun suunnitellaan aurinkoenergian hyödyntämistä suuremmissa kohteissa. Tässä työssä ei käsitellä kustannusrakennetta eikä aurinkosähköä.

2 LÄHIENERGIAMALLI

Lähienergiamallilla tarkoitetaan tässä työssä kokonaisuutta, jossa asuinalueen lämpöenergiantuotanto on keskitetty, minkä ansiosta asuntokohtainen talotekniikkalaitteisto saadaan pysymään kohtalaisen yksinkertaisena ja laitteiston huoltotoimenpiteet on ulkoistettu. Tarkoitus on tuoda esille tätä ajatusmallia, jotta ymmärrettäisiin, miksi työni kaltaisia projekteja on nykyään meneillään ja mitä mahdollisuuksia se tulevaisuudessa avaa.

Uudet talotekniikan teknologiat ovat mahdollistaneet uudenlaisten palvelumallien luomisen ja kehittämisen. Keskittymällä lämpöenergiantuotannossa uusiutuvaan energiaan ja luomalla pienimuotoisia alueellisia energiantuotantojärjestelmiä voidaan

asuinalueiden päästöt saada mahdollisimman vähäisiksi. Uudet palvelumallit pyrkivät auttamaan ja antamaan asiantuntevaa apua kuluttajille, jotta he saisivat täyden hyödyn uusista teknologian sovelluksista./1./

Energiapalveluiden tuottajilta vaaditaan mahdollisimman ympäristöystävällisten ja energiatehokkaiden vaihtoehtojen tarjontaa, kun taas kuluttajien täytyisi olla erittäin perehtyneitä talotekniikan teknologiasta, jotta he saisivat parhaimman mahdollisen hyödyn laitteista. Lähienergiamalli on syntynyt näiden ongelmien vuoksi ja pyrkii auttamaan molempia osapuolia. Uudet palvelumallit pyrkivät ottamaan kuluttajien vaativat tarpeet huomioon ja luomaan heille kestävän ja edullisen ratkaisun. Lähienergiamallin kohdealueiksi sopivat parhaiten alueet, jotka ovat kaukolämmön ja yksittäisten talouksien välimaastossa. Energiaratkaisut luodaan jokaiselle alueelle tapauskohtaisesti ja pyritään huomioimaan alueen luomat edellytykset erilaisille järjestelmille. Lähienergiamalli on luotu uusia asuinalueita silmällä pitäen, mutta sitä on myös mahdollista soveltaa jo olemassa oleville asuinalueille./1./

3 KOHTEEN ESITTELY

Työn tarkastelukohteena käytetään Jyväskylään vuonna 2014 rakennettavaa Äijälänrannan asuntomessualueen pientaloaluetta, johon kuuluu yhteensä 37 pientalotonttia, kuvassa 1 on luonnoskuva alueesta. Tonttien rakennusoikeudet vaihtelevat 180 m² aina 350 m² asti, tonttien rakennusoikeuksien keskiarvo on 237 m². Pientalojen lisäksi alueelle rakennetaan useita kerrostalojakin, mutta niitä ei tässä työssä tuoda tämän enempää esille. Korostettakoon, että työssä esiintyvää järjestelmää ei tulla toteuttamaan alueelle eikä se sinällään ole missään yhteydessä itse asuntomessuihin.

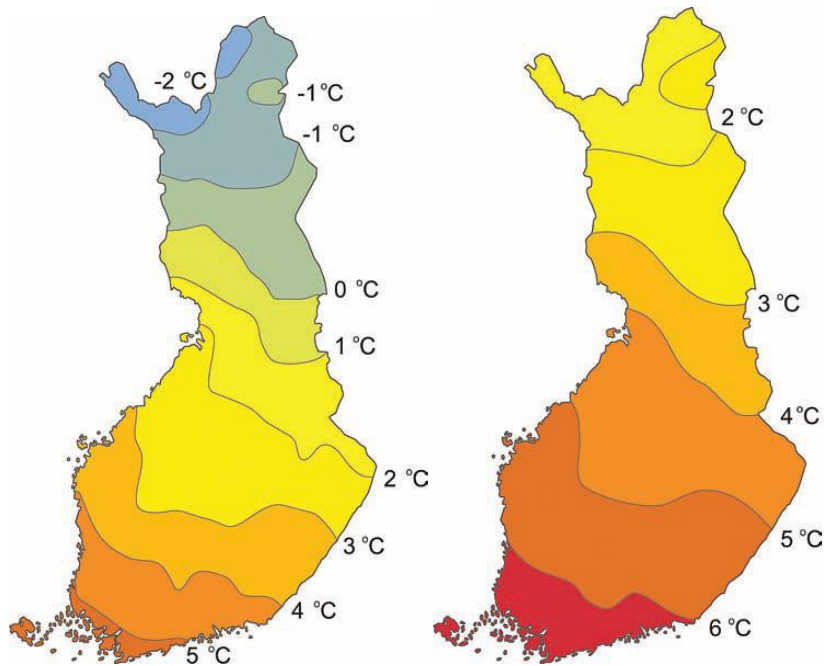


KUVA 1. Luonnoskuva Äijälänrannasta /2/

4 MAALÄMPÖ

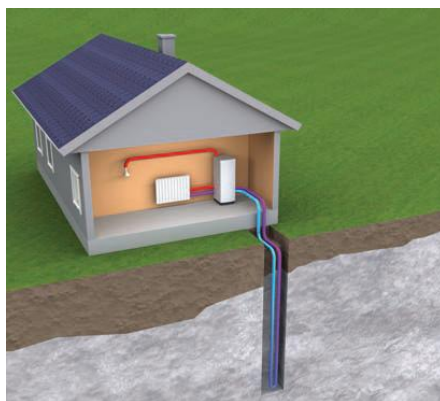
4.1 Yleistä maalämmöstä

Maalämpö on maanpintaosiin varastoitunutta energiaa, joka on peräisin auringosta. Syvemmällä kallioperässä lämpöenergia johtuu radioaktiivisten aineiden hajoamisesta, tällöin puhutaan geotermisestä energiasta. Maa- ja kallioperän pintakerroksen vuotuinen keskilämpötila eroaa Suomessa keskimäärin kaksi astetta ilman vuotuisesta keskilämpötilasta. Lämpötilan vaihtelu on kuvan 2 mukaisesti joitain asteita. Noin 14 - 15 metrin syvyydessä lämpötila vakiintuu Suomessa 5-6 asteeseen, geotermisen energian vaikutus on noin $0,5-1^{\circ} / 100 \text{ m}$. Kallioperän lämpöominaisuuksia on hankala arvioida ennen porausta, ja niihin vaikuttavat eniten kallioperän koostumus, rikkonaisuus ja pohjaveden liikkeet. Pohjaveden määrä ja pohjaveden vaihtuvuus kallioperässä tehostavat lämmön siirtymistä./3./



KUVA 2. Lämpötilojen vuotuiset keskiarvot tarkastelukaudelta 1971 - 2000, vasemmalla ilma ja oikealla maanpinta /3/

Maalämpöä voidaan kerätä maaperän pintaosista, syvemmltä kallioperästä tai vesistöstä. Kuvassa 3 on esitetty maalämmön keräys maaperästä sekä maalämmön keräys kallioperästä. Maaperästä lämpöä kerätään 0,7-1,2 metrin syvyyteen asennettavan maapiirin avulla, jossa putkien asennusväli on noin 1,5 metriä. Kallioperästä lämpöä kerätään tavallisimmin alle 200 metrin syvyyteen porattavasta lämpökaivosta tai useammasta kaivosta. Vesistöstä lämpöä kerätään vesistöön upotettavan ja ankkuroitavan keruuputkiston avulla vähintään 2-3 metrin syvyydestä, keruuputket ovat vähintään 1-2 metrin välein. Keruuputkistossa kiertää jäätymätön lämmönsiirtoaine, joka kuljettaa keräämänsä lämmön maalämpöpumpulle./3./



KUVA 3. Vasemmalla lämpökaivo ja oikealla maapiiri /3/

Maalämpöpumpun tehtävä on siirtää maaperästä, kallioperästä tai vesistöistä kerätty-lämpö rakennukseen. Keruupiirissä kiertävä lämmönsiirtoaine luovuttaa lämpönsä lämpöpumpussa kiertävälle kylmäaineelle, josta lämpö siirretään myöhemmin lämmitysjärjestelmään. Maalämpöpumppu soveltuu parhaiten matalan lämpötilan lämmönjakojärjestelmien lämmönlähteeksi, kuten vesikiertoiseen lattialämmitykseen sekä ilmalämmitykseen. Käyttöveden lämmittäminen onnistuu nykyisillä maalämpöpumpuilla kohtuullisen energiatehokkaasti, ja kesällä rakennusta voidaan jäähdyttää maalämpöpumpun avulla. Nykyään pidetään mahdollisena, että lämpökaivosta voidaan saada antoisampi talvella, kun kesällä käytetään maalämpöpumpun yhteydessä jäähdytystä, jolla ylimääräinen lämpö siirretään huonetiloista kallioperään, jolloin kallioperään ladataan lämpöä talven varalle. Jäähdytys toimii näin ainoastaan lämpökaivon ollessa lämmönlähteenä. Tuloksia lämmönsiirtämisestä lämpökaivoon ja sen vaikutuksista on kuitenkin heikosti saatavilla./3./

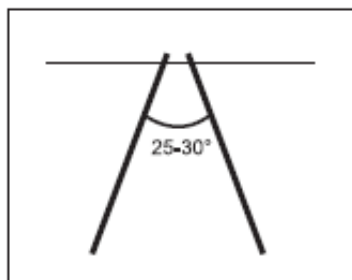
4.2 Lämpökaivon suunnittelu ja rakenne

Tärkeimpiä asioita lämpökaivon suunnittelussa ovat lämpökaivon sijoittaminen tontilla ja keruupiirin oikea mitoittaminen. Lämpökaivojen välisestä suositellusta minimietäisyydestä noin 20 metriä voidaan poiketa, mikäli yksi tai useampi rei'istä on porattu vinoon. Muita huomioon otettavia asioita kaivon paikkaa valittaessa ovat esimerkiksi porakaivo ja rakennukset. Taulukossa 1 on esitetty lämpökaivon minimietäisyyksiä eri kohteille. /3./

TAULUKKO 1. Lämpökaivon suositellut minimietäisyydet /3/

Kohde	Suosittelava minimietäisyys
Lämpökaivo	20 m
Porakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Tontin raja	10 m
Kiinteistökohtainen jätevedenpuhdistamo	Kaikki jätevedet 30 m, harmaat vedet 20 m
Viemärit ja vesijohdot	5 m

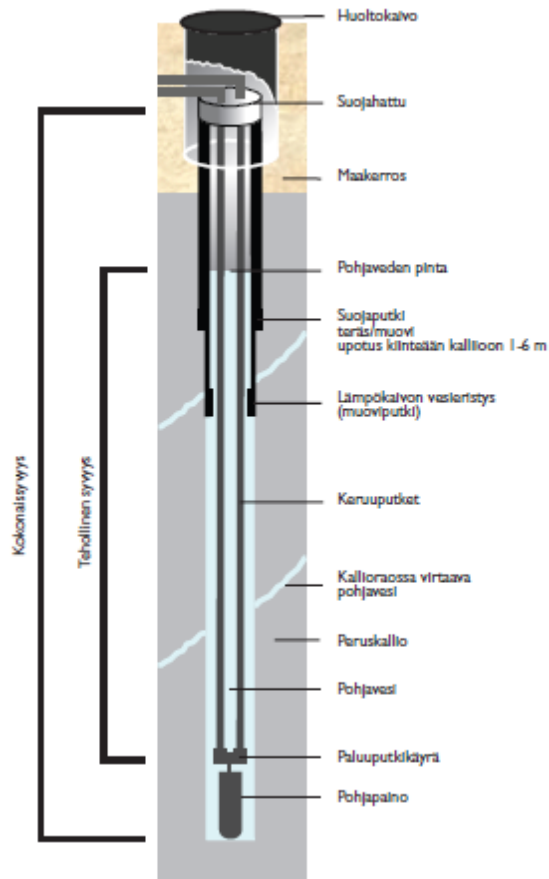
Vinoreiät ovat tarpeeksi etäällä toisistaan, kun niiden keskinäinen kaltevuuskulma kuvan 4 mukaan on 25 - 30°. Yhteensä lämpökaivoja voidaan yhdestä pisteestä porata vinottain neljä. Lämpökaivoja voidaan tarvita kymmeniä tai jopa satoja, jolloin niiden sijoittaminen on suunniteltava tarkasti. Tällaisia tapauksia kutsutaan geoenergiakentiksi, joissa pinta-alan tarve voi kasvaa suureksi./3./



KUVA 4. Vinottain porattavien lämpökaivojen välinen kulma /3/

Porareian maksimisyvyytenä käytetään yleensä 200 metriä ja reiän halkaisija vaihtelee välillä 105 - 165 mm. Edellä mainittu 200 metrin poraussyvyys pääosin johtuu nykyisten porauslaitteistojen rajallisuudesta ja kustannustehokkaasta poraamisesta. Suomessa on kyllä porattu lähes 300 metrin syvyisiä lämpökaivoja, mutta ne ovat hyvin harvinaisia ja haastavia porata. Puhuttaessa lämpökaivon tehollisesta syvyydestä tarkoitetaan sillä syvyyttä, jossa keruuputket ovat vedessä./3./

Lämpökaivon yläosaan asennetaan suojaputki estämään irtoaineksen ja pinnalta valuvien vesien pääsy lämpökaivon kautta pohjaveteen ja se upotetaan 1-6 metrin verran kiinteään kallioon. Lämpökaivo vesieristetään vähintään 6 metrin syvyyteen muovisella eristysputkella. Lämpökaivo täytetään vedellä, jos se ei itsestään täyty pohjavedellä. Lämmönkeruuputkisto lasketaan lämpökaivoon pohjapainon avulla. Lopuksi lämpökaivo suljetaan vesitiiviillä suojahatulla. Lämpökaivon päälle asennetaan huoltokaivo. Lämmönkeruuputkiston materiaali on yleisesti muovia, esimerkiksi polyeteeniä. Kuvassa 5 on leikkauskuva lämpökaivosta./3./



KUVA 5. Leikkauskuva lämpökaivosta /3/

4.3 Lämmönsiirtoaineet

Vesi on lämmönkuljetusominaisuuksiltaan paras lämmönsiirtoaineaine. Huonona puoleena vedessä on, että vesi jäätyy jo 0 °C:ssa. Jäätyminen estetään lisäämällä veteen jäätymisenestoainetta, esimerkiksi etanolia, etyleeniglykolia tai propyleeniglykolia./4./

Lämmönkuljetusominaisuuksien eroavaisuudet eri lämmönsiirtoaineiden välillä eivät ole kovin suuria. Taulukossa 2 on esitetty yleisimpien käytettävien lämmönsiirtoaineiden ominaisuuksia. Etanolia käytetään yleensä maalämpöjärjestelmissä, sillä sen pumpattavuus säilyy hyvänä matalissakin lämpötiloissa viskositeetin ollessa pieni. Etanoli soveltuu hyvin myös aurinkolämpöjärjestelmiin, joiden lämpötila pysyy matalana. Myrkyllistä etyleeniglykolia käytetään perinteisesti autojen jäähdytysjärjestelmissä. Myrkyllisyyden takia etyleeniglykolia voidaan käyttää talotekniikan sovelluksissa turvallisesti ainoastaan jäähdytyslaitteistojen lämmönsiirtoaineena, esimerkiksi vedenjäähdytyskoneen ja ulkolauhduttimen välillä. Aurinkolämpöjärjestelmien taval-

lisiin lämmönsiirtoaine on propyleeniglykoli. Propyleeniglykoli ei syty helposti korkeissa lämpötiloissa, ja tämä ominaisuus tekee siitä yhden parhaiten soveltuvan lämmönsiirtoaineen aurinkolämpöjärjestelmiin./3;4./

TAULUKKO 2. Lämmönsiirtoaineiden ominaisuudet /3/

Ominaisuus	Etanoli (35p%)	Etyleeniglykoli (41p%)	Propyleeniglykoli (44p%)
Tiheys [kg/m ³](−15°C)	966	1068	1051
Lämmönjohtavuus [W/mK](−15°C)	0,37	0,39	0,37
Ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK](−15°C)	4	3,34	3,63
Kinemaattinen viskositeetti [mm ² /s](−15°C)	19,1	11,65	42,6
Sekoittuvuus veteen	täysin liukeneva	täysin liukeneva	täysin liukeneva
Haitallisuus (ihmiselle/ympäristölle)	ei haitallinen	haitallinen	ei haitallinen

4.4 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumpun toiminta perustuu laitteistossa kiertävän kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhutumiseen. Kylmäaineen höyrystyminen vaatii lämpöä, joka otetaan höyrystymässä matalassa lämpötilassa keruuputkistossa kiertävästä liuoksesta. Tästä syntyvä höyry puristetaan kompressorilla korkeampaan paineeseen, jolloin höyry lämpeenee. Kompressorin vaatii sähköenergiaa toimiakseen. Tämän jälkeen korkeapaineinen lämmin höyry jäähdytetään lauhduttimessa, jossa höyry nesteytyy ja vapauttaa samalla lämpöä. Lauhduttimessa vapautuva lämpö lämmittää lauhduttimen läpi virtaavan veden. Lopuksi neste palautetaan höyrystimeen laskemalla sen paine paisuntaventtiilissä ja kierto alkaa taas alusta./5./

Lämpökerroin kertoo maalämpöpumpun tehokkuuden, joka on saadun lämmitystehon suhde tarvittavaan sähkötehoon mitoitusolosuhteissa. Lämpökertoimeen vaikuttaa merkittävästi lämmönoton lämpötila sekä lämmön käytön lämpötila. Lämpökerroin kertoo, kuinka monta yksikköä lämpöenergiaa saadaan tuotettua yhdellä yksiköllä sähköä. Edullisinta on mahdollisimman korkea maaperästä, kallioperästä tai vesistöstä

tuleva lämmönsiirtoaineen lämpötila ja mahdollisimman matala veden käyttölämpötila./5./

5 AURINKOENERGIA

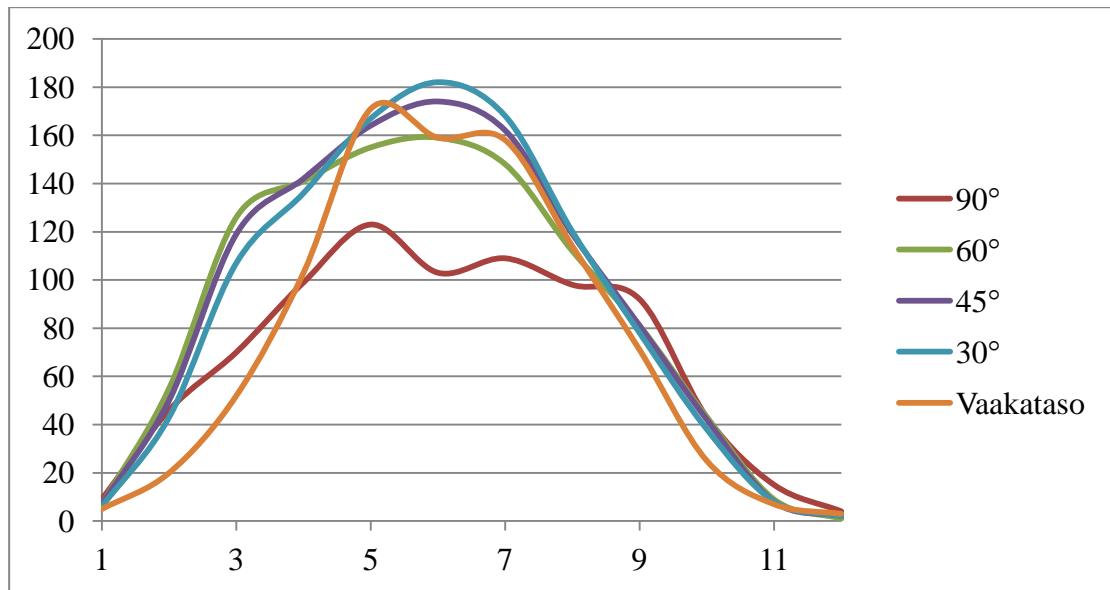
5.1 Yleistä aurinkoenergiasta

Etelä-Suomessa aurinkosäteilyn määrä vaakatasolla ja vuositasolla mitattuna on noin 1000 kWh/m² ja Keski-Suomessa päästään noin 900 kWh/m². Aurinkoenergialaitteeseen eli aurinkokeräimeen osuvaan säteilyyn vaikuttaa säteilyn voimakkuuden lisäksi erittäin merkittävästi laitteen suuntaus ja sijainti./6./

Laitteen suuntauksessa tulee kiinnittää huomiota kahteen tärkeään kulmaan: kallistuskulmaan ja atsimuuttikulmaan eli poikkeamaan etelästä. Kallistuskulmalla tarkoitetaan vaakatason ja laitteiston välistä kulmaa. Atsimuuttikulma määritellään niin, että suuntaus etelään on 0°, länteen + 90° ja itään -90°. Kun maapallo pyörii akselinsa ympäri, näyttää auringon paikka siirtyvän jatkuvasti taivaalla ja tämän takia säteily osuu laitteeseen jatkuvasti eri kulmassa. Säteilyn ja laitteen pinnan välistä kulmaa kutsutaan tulokulmaksi. Säteilyn osuessa kohtisuoraan keräimen pintaan, on tulokulma 0°, joka on aurinkokeräimen paras tulokulma./6./

Aurinkokeräimen sijainniksi tulisi valita mahdollisimman varjoton paikka. Aurinkokeräimen suunnaksi kiinteässä asennuksessa kannattaa valita etelä, keräimen voi myös suunnata itään tai länteen. Järjestelmästä saadaan suurin hyöty aikaiseksi suuntauksen kulmilla välillä +/-45° etelästä, tällöin häviöt vuositasolla jäävät noin 7 prosenttiin./6./

Kesällä paras kallistuskulma on sama kuin leveysaste. Tällöin aurinkokeräimellä saadaan tuotettua parhain teho keskipäivällä ja kesäaikaan. Suomessa talvella parhaimman tehon saavuttaa, kun kallistuskulmaksi asettaa leveysasteen plus 15 - 20° eli lähes pystysuoraan. Suomi sijoittuu etelä - pohjoissuunnassa leveysasteelta 60 °N melkein leveysasteelle 70 °N. Jyväskylän leveysaste on 62 °N. Kuvassa 6 on esitetty Jyväskylässä auringon säteilymäärät pinnalle eri kallistuskulmilla, kun pinnan suuntaus on etelään./6./



KUVA 6. Auringon säteilyenergian määrä pinnalle kuukausittain (kWh/m²) eri kallistuskulmille. Jyväskylä, suuntaus etelä /6;8/

Taulukko 3 osoittaa, että Jyväskylän leveysasteella suuntauksen ollessa etelään ja kallistuskulman ollessa välillä 30 - 60° auringon kokonaissäteily määrän erot yhdelle neliömetrille ovat hyvin pieniä.

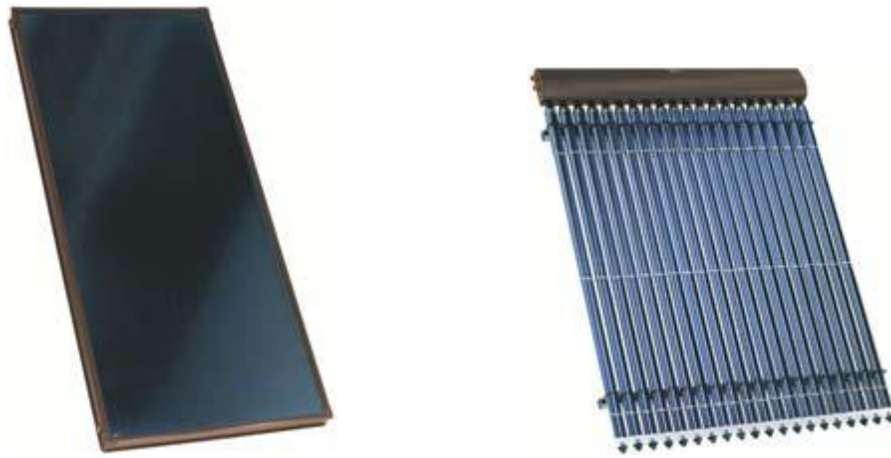
TAULUKKO 3. Auringon vuoden kokonaissäteily määrä pinnalle (kWh/m²) eri kallistuskulmilla. Jyväskylä, suuntaus etelä /6;8/

Kallistuskulma	Säteily määrä (kWh/m ²)
90°	812
60°	1037
45°	1070
30°	1055
Vaakataso	890

5.2 Aurinkolämmön keräintekniikat

Aurinkolämpökeräimet jaetaan nestekiertoisiin keskittäviin sekä ei-keskittäviin malleihin. Kuvassa 7 on esitetty yleisimmät ei-keskittävät mallit, jotka ovat tasokeräimiä tai tyhjiöputkikeräimiä. Keskittäviä aurinkokeräimiä ei Suomessa pahemmin tavata. Keräinteknologiaa on alettu kehittämään lisääntyneen kiinnostuksen vuoksi niin, että

aurinkokeräimet soveltuisivat paremmin myös kylmempiin ja vaativampiin ympäristöihin./7./



KUVA 7. Vasemmalla tasokeräin ja oikealla tyhjiöputkikeräin /8/

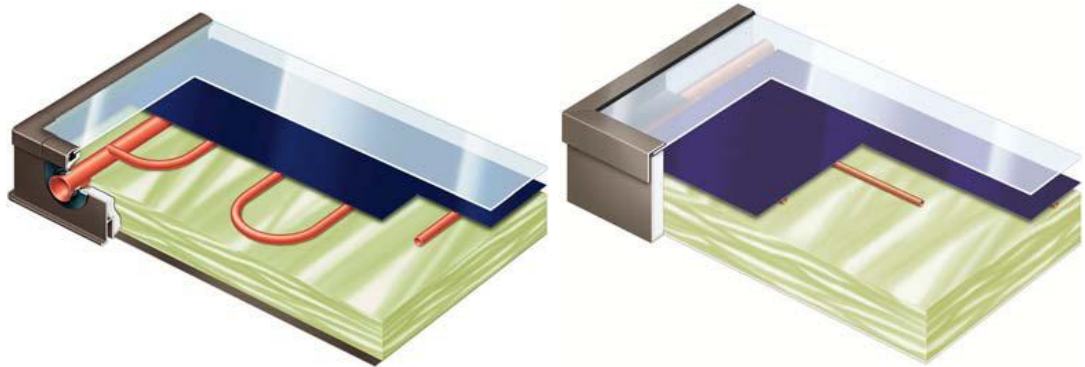
Aurinkokeräimen hyötysuhde on kääntäen verrannollinen aurinkokeräimen ja sitä ympäröivän ilman väliseen lämpötilaeroon. Suuremmalla lämpötilaerolla hyötysuhde on pienempi ja päinvastoin. Tässä tullaan siihen, että keräimen tehokkuuden kannalta nesteen liikkuvuus keräimessä, säätöjärjestelmä ja oikein mitoitettu varaaja ovat tärkeässä roolissa./4./

Aurinkokeräimen suorituskykyä kuvataan hyötysuhdekäyrällä, jossa x-akselilla on keräimen keskilämpötilan (T_m) ja ympäristön lämpötilan (T_y) välinen ero, y-akselilla on keräimen hyötysuhde. Keräimen keskilämpötila on keräimeen menevän lämmönsiirtoaineen ja sieltä poistuvan lämmönsiirtoaineen lämpötilan keskiarvo. Hyötysuhde on keräimestä saatavan tehon suhde keräimen pinnalle tulevaan auringon säteilytehoon./4./

5.2.1 Tasokeräimet

Ei-keskittävistä nestekiertoisista aurinkokeräimistä tasokeräimet ovat tällä hetkellä edullisia ja luotettavia Suomen olosuhteisiin. Tasokeräimissä on tarkoitus absorboida auringon säteily keräinpintaan, jonka absorptio-ominaisuuksia on parannettu erityisellä pinnoitteella. Kuvassa 8 on esitetty tasokeräimen kaksi erilaista kytkentämallia, joissa absorptiopinnasta lämpö johtuu lämmönsiirtoaineeseen (yleensä vesiglikoliseos), joka virtaa pienessä putkistossa absorptiopinnan alla. Absorptiopinta on

lämpöeristetyssä laatikossa, päällystettynä ja suojattuna lasilevyllä. Keräimen lämpötekniset ominaisuudet riippuvat pääasiassa lasin ja absorptiopinnan optisista ominaisuuksista sekä keräimen lämpöeristyksestä, erityisen tärkeää on absorptiopinnan ominaisuudet./6./



KUVA 8. Tasokeräimen leikkauskuvat, serpenttiinikytkentä vasemmalla ja jakotukki-kytkentä oikealla /8/

5.2.2 Tyhjiöputkikeräimet

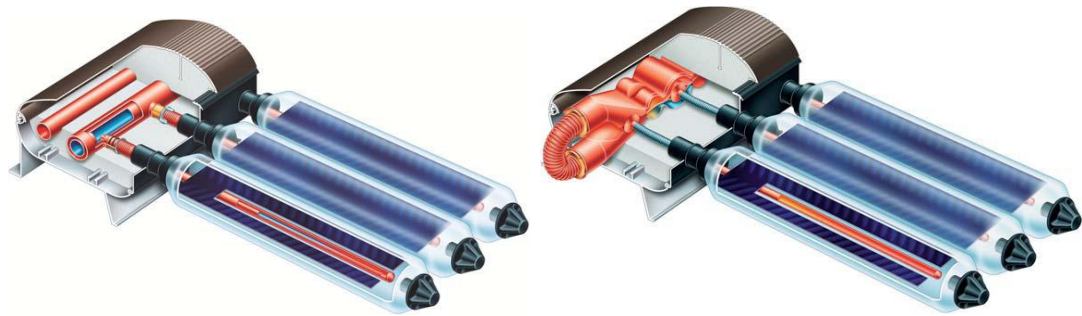
Eroavaisuutena tasokeräimeen on tyhjiöputkikeräimessä absorboiva pinta heti putken pinnalla eikä toisen kerroksen alla. Putki, jossa lämmönsiirtoaine sijaitsee, on suljettu suurempaan lasiputkeen, josta ilma on poistettu ja on saatu näin hyvin lämpöeristettyä kuuma putki ympäristöstään. Tämän takia tyhjiöputkikeräimillä on mahdollista päästä korkeampiin lämpötiloihin, jos vertaa samoissa olosuhteissa olevaan tasokeräimeen. Tyhjiöputkikeräin toimii paremmalla hyötysuhteella kuin tasokeräin, kun lämpötilatasonnot ovat korkeat. Tyhjiöputkikeräimissä on säteilyn vastaanottavaa pinta-alaa enemmän verrattuna samankokoiseen tasokeräimeen, koska tyhjiöputkikeräin pystyy vastaanottamaan auringonsäteilyä joka puolelta keräintä./6;7./

Yleisemmässä ja vanhemmassa mallissa tyhjiöputken sisällä on kiertänyt lämmönsiirtoneste u-muotoisessa putkessa, mutta uusimmissa ratkaisussa tyhjiöputken sisällä on lämpöputki eli heatpipe, joka siirtää lämmön putken toiseen päähän, mistä lämpö siirretään lämmönsiirtonesteeseen lämmönsiirtimen välityksellä. Kuvassa 9 on esitetty yleisimmät tyhjiöputkikeräinmallit. Lämpöputkimallissa on siis kaksi erillistä lämmönsiirtonestettä u-putken yhden lämmönsiirtonesteen sijaan. Tyhjiöputkikeräimen

heikkoutena voidaan pitää sen kestättömyyttä ulkoisille iskuille eikä lumen paino paranna sen tilannetta talvella./7./

Heatpipe-mallin hyvinä puolina voidaan pitää huollettavuutta ja matalampaa vuotoherkkyyttä. Heatpipe-mallissa jokaisen tyhjiöputken ollessa oma yksittäinen kokonaisuus omalla lämmönsiirtonesteellä varustettuna, niin tällöin liitoskohdassa yläpalkin lämmönsiirtimeen vuodot on saatu poistettua lähes minimiin verrattuna u-putkimalliin, jossa sama lämmönsiirtoneste kiertää kaikissa tyhjiöputkissa ja yläpalkissa. Samalla keräimen huoltamista on saatu helpotettua. Mikäli yksi putkista hajoaa, kaikki lämmönsiirtoaine ei valu samalla keräimestä pois ja korjaaminen onnistuu vain vaihtamalla uusi putki hajonneen tilalle.

Kylmemmissä olosuhteissa tyhjiöputkikeräimen toimintaa voidaan parantaa lisäämällä heijastava pinta putkien taakse, rakentamalla ympärille suojaava kotelo ja laittamalla kotelon päälle lasipinta. Heijastin parantaa putkien ohi menevän säteilyn hyödyntämistä, jonka avulla pystytään parantamaan kokonaishyötysuhdetta verrattuna avoimiin tyhjiöputkikeräimiin. Tällaisia malleja on jo näkyvissä Suomen markkinoilla, ja osa kulkee nimellä tasotyhjiöputkikeräin /7./



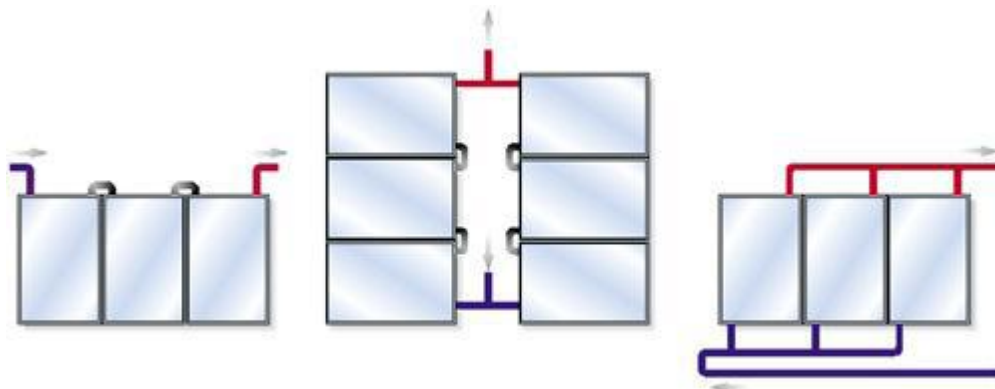
KUVA 9. Tyhjiöputkikeräimen yleisimmät mallit leikkauskuvina, vasemmalla u-putki ja oikealla lämpöputki, tutummin heatpipe /8/

5.2.3 Kytkeämallit useammalle keräimelle

Aurinkokeräimet voidaan kytkeä sarjaan tai rinnan sekä sarja- ja rinnankytkennällä. Kuvassa 10 on esitetty eri kytkentävaihtoehdot. Tärkein asia kytkennöissä on, että nestevirtauksen tulisi pysyä samana koko aurinkokeräinkentässä, yleensä laskennassa

käytetään arvoa 30 - 50 l/hm². Kytchentävaihtoehdot valitaan yleisesti aurinkokeräinkentän koon mukaan. /11./

Sarjakytkenässä pumppu kuluttaa enemmän virtaa virtausvastuksen kasvaessa liitettyjen aurinkokeräimien mukaan, virtaus aurinkokeräimissä pysyy koko ajan samana. Rinnankytkenässä virtausvastus pysyy paljon matalampana verrattuna sarjakytkenään, ja näin pumppu kuluttaa vähemmän virtaa. Rinnankytkenän huonona puolena on, että virtauksen saaminen samaksi kaikissa aurinkokeräimissä on vaikeampaa kuin sarjakytkenässä, koska rinnankytkenässä meno- ja paluulinjojen tulisi olla mahdollisimman samanpituiset. Suurissa aurinkokeräinkentissä suositetaan sarja- ja rinnankytkentää, jossa pumpun kuluttama virta saadaan mahdollisimman pieneksi ja virtaus aurinkokeräimissä saadaan pysymään mahdollisimman samana edellyttäen samanpituisia meno- ja paluulinjoja./11./



KUVA 10. Kytkentämallit useammalle keräimelle. Vasemmalla sarjakytkenä, keskellä sarja- ja rinnakkaisytkentä ja oikealla rinnakkaisytkentä /11/

6 HAASTATTELUT

Haastattelujen tarkoituksena oli kuulla aurinkoenergiaan perehtyneiden asiantuntijoiden ajatuksia ja näkemyksiä aurinkoenergiälämmityksestä nykyään. Haastatteluissa molempia henkilöiden kanssa käytiin läpi lähes samat kysymykset. Ilkka Arha toimii aurinkokeräimiä Suomessa valmistavan Savosolar Oy:n myyntipäällikkönä ja Jouni Järvinen omistaa aurinkoenergiaa hyödyntäviin laitteistoihin keskittyneen Solartukku Oy:n.

Ilkka Arha painottaa haastattelussa suunnittelun tärkeyttä, koska jokainen kohde on yksilöllinen ja aurinkolämpöjärjestelmät tulisi näin ollen aina räätälöidä kohteen mukaan. Molemmat haastateltavat Arha sekä Järvinen painottavat yhdeksi tärkeimmistä asioista heti keräimien jälkeen varaajan oikeaoppista mitoitus ja tärkeyttä. Sillä vääräkokoisella ja huonolaatuisella varaajalla pystytään tuhoamaan se hyöty, mitä aurinkokeräimistä olisi mahdollista saada. /12;13./

Molemmat haastateltavat ovat samoilla linjoilla siitä, että Suomessa olisi valtavasti kapasiteettia hyödyntää aurinkoenergiaa lämmityksessä. Ilkka Arhan mukaan Suomen päättäjien tasolla tulisi tehdä uusia linjauksia aurinkoenergian suhteen, koska tällä hetkellä investointeja aurinkoenergiaan ei tueta eikä käytöstä saa mitään avustuksia, toisin kuin monessa muussa Euroopan maassa. Jouni Järvinen toivoi myös rakentamismääräyksiin parannuksia, jotka parantaisivat aurinkoenergian asemaa energianlähteenä. Pieni parannus on jo nyt kesällä 2012 luvassa ja tulevaisuudessa toivottavasti huomattavasti suurempia parannuksia. /12;13./

Arha kertoi, että tasokeräimet ovat ajaneet tyhjiöputkikeräimien kehityksen kiinni ja ovat valtaamassa markkinoita tyhjiöputkikeräimiltä. Tähän asti tyhjiöputkikeräimet ovat olleet tehokkaampia kuin tasokeräimet, mutta Arhan mukaan tasokeräimillä päästään tällä hetkellä hyvin lähelle tyhjiöputkikeräimien lämmitysenergiantuottotasoa. Järvinen piti sen sijaan tyhjiöputkikeräimiä edelleen jonkun verran tehokkaampina verrattuna tasokeräimiin ja kertoi, että tyhjiöputkien kysyntä on tällä hetkellä tasokeräimiä suurempaa. Järvinen kertoi, että tasokeräimet ovat tyhjiöputkikeräimiä paremmin integroitavissa rakenteisiin, mutta tyhjiöputkikeräimien hinta-laatusuhde on parempi kuin tasokeräimissä. /12;13./

7 KÄYTETTÄVÄ LAITTEISTO

Jokaisessa asunnossa on 223 litran varaaja, joka on varustettu sähkövastuksella. Varaajassa vaihtuva vesi kiertää talon lattialämmitysputkistossa ja ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatterissa lämmittäen taloa ja tuloilmaa. Sähkövastuksen tehtävänä on varmistaa veden oikea lämpötila varaajassa, mikäli lämmönjakeluverkostosta saatava lämpöenergian määrä ei riitä kaikissa tilanteissa lämmittämään tarpeeksi varaajan vesimäärää. Lämpimälle käyttövedelle on varaajassa oma kierukkansa. Varaajan ala-

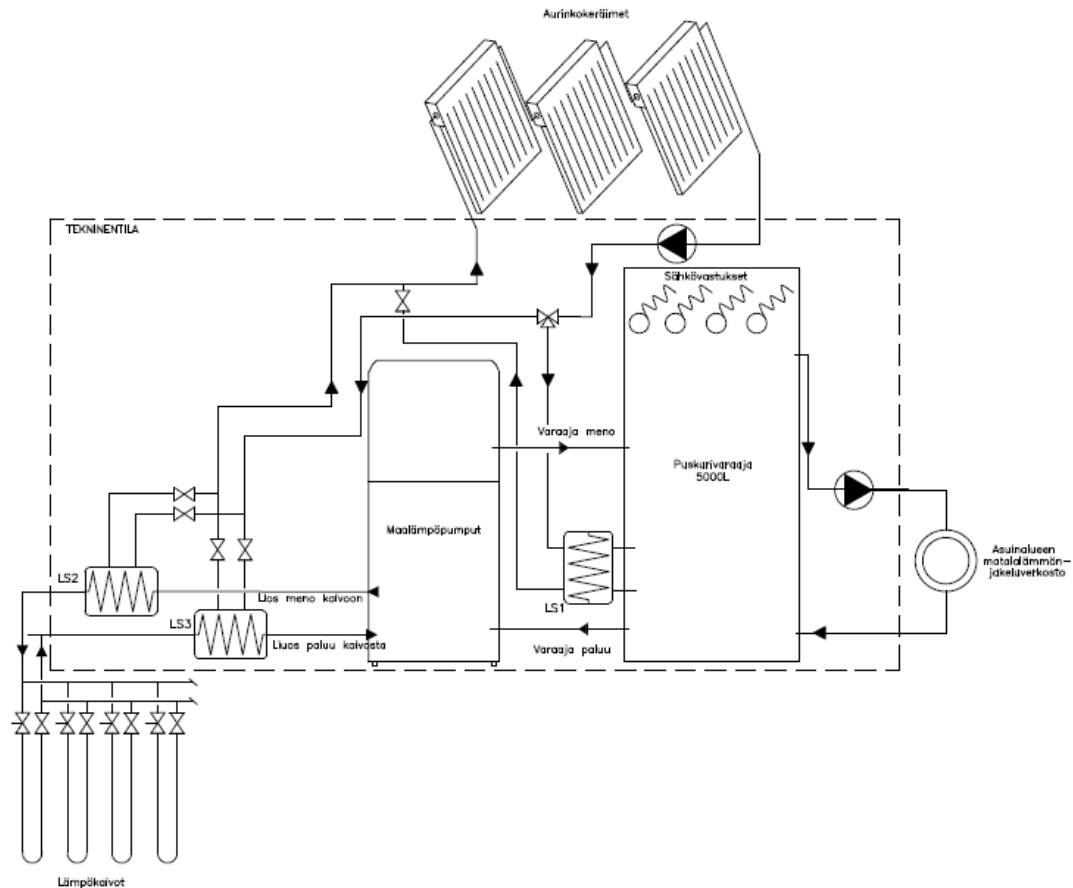
osaan on asennettu erillinen levylämmönsiirrin, jossa varaajan vesi lämmitetään asuinalueen lämmönjakeluverkoston veden lämpömäärällä.

Lämmönjakeluverkosto koostuu eristetyistä maan alle sijoitetuista, eristetyistä muovisista meno- ja paluuputkista ja tarvittavista verkoston haaroitus- ja huoltokaivoista. Paluulinjoissa on linjasäätöventtiilit, tehtävänäan tasata eripituisten linjojen veden virtausta. Lämmönjakeluverkoston vettä kierrätetään pumppujen avulla puskurivaraajasta rakennuksille ja takaisin.

Puskurivaraajaan varataan lämmintä vettä, jonka lämminvesi kiertää lämmönjakeluverkostossa. Puskurivaraajassa on omat kierukat maalämmölle ja aurinkokeräimille. Aurinkolämmön kierukka sijoitetaan varaajan alaosaan ja maalämpöpumpun kierukka aurinkolämpökierukan yläpuolelle. Sähkövastukset ovat puskurivaraajan yläosassa varmistamassa, että tarvittava lämmönjakeluverkoston lämpötila saavutetaan kaikissa tilanteissa. Lämmönjakeluverkoston paluuputki kytketään puskurivaraajan alaosaan ja lämmönjakeluverkoston menoputki otetaan puskurivaraajan yläosasta. Verkostoon on tarkoitus ajaa puskurivaraajasta 60 – 65 °C asteista vettä.

Maalämpöpumput kierrättävät lämmönsiirtoainetta lämpökaivojen muodostamassa geoenergiakentässä ja pumppujen välillä, ottaen aina tarvittavan lämmön liuoksesta koneiston kylmäaineeseen. Kylmäaine luovuttaa lämpöä veteen, joka kiertää kierukassa lämmittämässä puskurivaraajan vesimäärää.

Aurinkokeräiminä käytetään Savosolar Oy:n tasokeräimiä, mallia SF-100 - 03. Aurinkolämpöjärjestelmä pitää tässä esimerkkitapauksessa sisällään keräimien lisäksi pumppu- ohjausyksikön, tarvittavat venttiilit, putket, varolaitteet, anturit sekä säätimet ja kolme erillistä levylämmönsiirrintä. Yksi levylämmönsiirtimistä on yhdistetty puskurivaraajan yhteyteen. Toinen levylämmönsiirtimistä on yhdistetty lämpökaivoille menevään liuospiiriin ja kolmas levylämmönsiirrin on yhdistetty lämpökaivoilta palaavaan liuospiiriin. Kuvassa 11 on esitetty pelkistetty kuva käytettävästä lämmöntuottojärjestelmästä.



KUVA 11. Lämmöntuottojärjestelmä

8 LASKELMAT

Yhden nelihenkisen perheen talon lämpimän käyttöveden lämmitysenergiantarve lasketaan yhtälöllä 1. Tästä saadaan arvot laskettua yhdelle vuodelle ja lisäksi voidaan laskea kesäajalle (3 kuukautta) käyttöveden lämmitysenergiantarve. Lämpimän veden kulutustietona voidaan käyttää arvoa $50 \text{ dm}^3/\text{henk}/\text{vuorokausi}$ /9/. Käyttöveden lämmitysenergiantarpeet yhdelle vuodelle ja kesällä on taulukossa 4.

$$Q_{lkv} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad (1)$$

missä ρ_v on veden tiheys, c_{pv} on veden ominaislämpökapasiteetti ja V_{lkv} on lämpimän veden kulutus. T_{lkv} on lämpimän veden lämpötila ja T_{kv} on kylmän veden lämpötila. Q_{lkv} eli käyttöveden lämmitysenergiantarpeet on laskettu erilaisilla lämpimän käyttöveden kulutuksilla.

TAULUKKO 4. Käyttöveden lämmitysenergiantarve/talo

Lämpimän käyttö- vedenkulutus /henk., a dm ³	Käyttöveden lämmitys- energiantarve /4 henk.,a kWh	Käyttöveden lämmitys- energiantarve /4 henk., kesä kWh
30	2555	639
40	3407	852
50	4258	1065
60	5110	1278
70	5962	1491

Talon vuotuinen lämmitysenergiantarve yhdelle vuodelle arvioidaan yhtälöllä 2. Talon lämmitysenergiantarve yhtä neliömetriä kohden on otettu taulukon 5 matalaenergiasarakkeesta. Käytetyt arvot ovat lämmityksen riviltä. Yhden talon huoneistoala on 150 neliömetriä. Talon lasketut vuotuiset lämmitysenergiantarpeet ovat taulukossa 6.

TAULUKKO 5. Rakennusten energiankulutus /10/

Kulutus	Nykytalot kWh, a/m ²	Matalaenergiatalot kWh, a/m ²	Passiivitalot kWh, a/m ²
Lämmitys	70 - 120	40 - 60	20 - 30
Lämminvesi	20 - 50	20 - 30	15 - 25

$$Q_{\text{lämmitys}} = A_{\text{huone}} * Q_{\text{lämmitysneliömetri}} \quad (2)$$

missä A_{huone} on talon huoneistoala ja $Q_{\text{lämmitysneliömetri}}$ on lämmitysenergiantarve vuodessa yhtä huoneiston neliömetriä kohden.

TAULUKKO 6. Talon lämmitysenergiantarve/a

Lämmityksen energiankulutus/m ² , a kWh	Talon lämmitysenergiantarve/a kWh
40	6000
45	6750
50	7500
55	8250
60	9000

Yhden matalaenergiatalon vaatima kokonaislämmitysenergiantarve yhdelle vuodelle saadaan, kun lasketaan yhteen talon lämmitysenergiantarve ja lämpimän käyttöveden

lämmitysenergiantarve yhtälöllä 3. Yhden talon vuotuiset kokonaislämmitysenergiantarpeet ovat taulukossa 7.

$$Q_{talo} = Q_{lämmitys} + Q_{lkv} \quad (3)$$

missä $Q_{lämmitys}$ on talon lämmitysenergiantarve ja Q_{lkv} on talon lämpimän käyttöveden lämmitysenergiantarve.

TAULUKKO 7. Kokonaislämmitysenergiantarve/talo, a

Käyttöveden lämmitys- energiantarve/4 henk., a kWh	Talon lämmitysenergiantarve/a kWh	Kokonaislämmitys- energiantarve/a kWh
2555	6000	8555
3407	6750	10157
4258	7500	11758
5110	8250	13360
5962	9000	14962

Seuraavaksi voidaan laskea koko asuinalueen kokonaislämmitysenergiantarve yhtälöllä 4. Lämmönjakeluverkoston ja lämmönsiirtimien yhteenlasketuksi lämpöhäviöiksi vuodessa oletetaan arvoksi 10000 kWh. Asuinalueen vuotuiset kokonaislämmitysenergiantarpeet ovat taulukossa 8.

$$Q_{asuinalue} = n_{talo} * Q_{talo} + Q_{häviöt,jakeluverk.+l.siirt.} \quad (4)$$

missä n_{talo} on talojen lukumäärä, Q_{talo} on yhden talon kokonaislämmitysenergiantarve ja $Q_{häviöt,jakeluverk.+l.siirt.}$ on lämmönjakeluverkoston ja lämmönsiirtimien lämpöhäviöt.

TAULUKKO 8. Asuinalueen kokonaislämmitysenergiantarve/a

Kokonaislämmitys- energiantarve/talo, a kWh	Kokonaislämmitys- energiantarve/a.alue, a MWh
8555	326,5
10157	385,8
11758	445
13360	504,3
14962	563,6

Yhden talon kosteiden tilojen lämmitysenergiantarpeen vuoden ajalle olen määrittänyt pelkästään pinta-alojen suhteen perusteella, koska tarkempaa talopohjaratkaisua ei työssäni ole käytettävissä. Asunnon kosteiden tilojen pinta-alaksi määritin 20 m², joka on 13 prosenttia koko huoneistoalasta. Yhden talon kosteiden tilojen lämmitysenergiantarve yhdelle vuodelle saadaan laskettua yhtälöllä 5. Taulukossa 9 on kosteiden tilojen lämmitysenergiantarpeet yhdelle vuodelle sekä kesäajalle (3 kuukautta). Kesäajalle saadut kosteiden tilojen lämmitysenergiantarpeet ovat suuntaa antavia ja todellista suurempia, koska huomioon ei ole otettu kesäajan ulkolämpötiloja.

$$Q_{kosteat,tilat} = \frac{A_{kosteat\ tilat}}{A_{huone}} * Q_{lämmitys} \quad (5)$$

missä $A_{kosteat\ tilat}$ on talon kosteiden tilojen pinta-ala, A_{huone} on talon huoneistoala ja $Q_{lämmitys}$ on talon lämmitysenergiantarve.

TAULUKKO 9. Kosteiden tilojen lämmitysenergiantarve/talo

Talon lämmitys- energiantarve/a kWh	Kosteiden tilojen lämmitysenergiantarve/a kWh	Kosteiden tilojen lämmitysenergiantarve/kesä kWh
6000	780	195
6750	878	220
7500	975	244
8250	1073	268
9000	1170	293

Asuinalueen kesäajan (3 kuukautta) lämmitysenergiantarve saadaan laskettua yhtälöllä 6. Lämmönjakeluverkoston häviöinä on käytetty arvoa 2500 kWh/kesä, mikä on ¼ koko vuoden jakeluverkoston häviöistä. Käyttöveden lämmityksen, kosteiden tilojen lämmitysenergian ja lämmönjakeluverkoston häviöiden yhteenlasketut arvot on taulukoitu taulukkoon 10. Taulukon 10 arvojen avulla voidaan valita aurinkokeräinmäärä, kun tunnetaan kesäajan lämmitysenergiantarve ja aurinkokeräimien tuottama lämmitysenergianmäärä. Asuinalueen kesäajan kosteiden tilojen lämmitys ja lämpimän käyttöveden lämmitys on eritelty tulokset osiossa.

$$Q_{lkv+kosteat\ tilat,kesä} = Q_{lkv,kesä} + Q_{kosteat,tilat,kesä} + Q_{häviöt,jakeluverk.+l.siirt.} \quad (6)$$

missä $Q_{lkv,kesä}$ on lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve kesällä, $Q_{kosteet,tilat,kesä}$ on kosteiden tilojen lämmitysenergian tarve kesällä ja $Q_{häviöt,jakeluverk.+l.siirt.}$ on lämmönjakeluverkoston ja lämmönsiirtimien lämpöhäviöt kesällä.

TAULUKKO 10. Kesäajan käyttöveden lämmitysenergian tarve ja kosteiden tilojen lämmitysenergian tarve ja lämmönjakeluverkoston häviöt/asuinalue, kesä

Käyttöveden läm. + kosteiden tilojen lämmitysenergian tarve/talo, kesä kWh	Käyttöveden läm. + kosteiden tilojen lämmitysenergian tarve/a.alue, kesä kWh
834	33358
1072	42164
1309	50933
1546	59702
1784	68508

9 MITOITTAMINEN

Lähtöarvoina laitteistojen mitoittamisessa käytetään seuraavia tietoja ja oletuksia. Tontteja on yhteensä 37 ja yhdelle tontille rakennetaan kaksikerroksinen matalaenergiatalo, jonka huoneistoala on 150 m² ja kerrosala on 180m², huonekorkeus on keskimäärin 2,7 metriä ja lämmin ilmatilavuus on 405 m³. Kosteiden tilojen ala on 20m². Talossa oletetaan tulevan asumaan neljä henkilöä.

9.1 Maalämpöpumput

9.1.1 Täystehomitoitus

Maalämpöpumpun käyntiajan vuodessa arvioidaan olevan noin 2300 - 2700 tuntia, joka on noin 26 – 31 prosenttia koko vuoden tuntimäärästä. Tästä pystytään laskemaan maalämpöpumpun hetkellinen tehontarve yhtälöllä 7. Maalämpöpumpun hetkellinen teho on laskettu usealla eri muuttujalla ja saadut arvot on laskettu kokonaislämmitysenergian tarpeen ja vuosittaisen käyntiajan funktiona taulukkoon 11.

$$\phi_{\text{täysteho,mlp}} = \frac{Q_{\text{asuinalue}}}{\text{käyntiaika}} \quad (7)$$

missä $Q_{\text{asuinalue}}$ on asuinalueen kokonaislämmitysenergian tarve ja käyntiaika on maalämpöpumpun käyntiaika.

TAULUKKO 11. Täystehomaalämpöpumpun hetkellinen teho

Käyntiaika (h)	Alueen Kokonaislämmitysenergian tarve (kWh)				
	326535	385809	445046	504320	563594
	Maalämpöpumpun hetkellinen teho (kW)				
2300	142	168	193	219	245
2500	131	154	178	202	225
2700	121	143	165	187	209

Taulukon 11 arvoista pystytään laskemaan keskiarvo täystehomaalämpöpumpulle, joka on 179 kW. Täystehomitoituksella saadun maalämpöpumpun tehon ollessa 179 kW kaikki lämpöenergia tuotettaisiin maalämpöpumpulla ilman lisäsähkövastuksia. Täystehomitoituksessa on pyritty valitsemaan riittävän suuri maalämpöpumppu, jolloin lisäsähkövastuksientarvetta ei kovimmillakaan pakkasilla ilmene. /3./

9.1.2 Osatehomitoitus

Kun maalämpöpumppua mitoitetaan osatehoiseksi, tällöin maalämpöpumpun tehoksi voidaan laskea noin 65 - 72 % täysitehoisesta pumpusta, jolloin maalämmöllä pystytään kattamaan noin 80 - 85 % vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta. Tämä on useasti riittävä tehontarve alueilla, jossa kovat pakkaspäivät ovat harvemmassa. Vuotuinen tehontarve lasketaan kylmimpien päivien mukaan talvella, ja yleensä sellaisia lämpötiloja esiintyy vuodessa hyvin harvoin. Osatehoisen maalämpöpumpun teho on laskettu yhtälöllä 8. Maalämpöpumpun osatehomitoituksessa on käytetty keskiarvoja taulukosta 11 ja osatehomitoituksella lasketut arvot on taulukossa 12. /3./

$$\phi_{\text{osateho,mlp}} = z * \phi_{\text{täysteho,mlp}} \quad (8)$$

missä z on osuus täysteho maalämpöpumpusta ja $\phi_{\text{täysteho,mlp}}$ on täysteho maalämpöpumpun hetkellinen teho.

TAULUKKO 12. Osatehomaalämpöpumpun hetkellinen teho

Osuus täysteho maalämpöpumpusta (%)	Täysteho maalämpöpumpun hetkellinen teho (kW)				
	131	155	179	203	226
	Maalämpöpumpun hetkellinen teho (kW)				
65	85	101	116	132	145
67	88	104	120	136	151
70	92	109	125	142	158
72	94	112	129	146	163

Maalämpöpumpun teho saadaan laskemalla keskiarvo taulukon 12 maalämpöpumpun hetkellinen teho arvoista. Tässä tapauksessa osateho mitoituksella saadaan maalämpöpumpun tehoksi 123 kW. Tässä esimerkkitapauksessa tarkastellaan useamman maalämpöpumpun muodostamaa kokonaisuutta, koska yleisimpien Suomessa käytettyjen scroll-kompressorilla varustettujen yksittäisten maalämpöpumppujen teho on enintään 85 kilowattia.

Valitaan esimerkiksi kaksi 62 kW maalämpöpumppua, jolloin pumppujen yhteistehoksi saadaan tarvittava 124 kW. Maalämpöpumppujen kylmäkertoimen eli COP-arvon oletetaan olevan 4, koska nykyään kylmäkerroin on 4 suurimassa osassa maalämpöpumpuista.

9.2 Lämpökaivot

Lämpökaivojen mitoitusta ei voida tehdä täysin tarkasti ilman kunnollisia kallioperän tutkimuksia, koska lämpökaivosta saatavaan lämpöenergian määrään vaikuttaa sijaintipaikkakunta, maankoostumus ja tehollinen syvyys. Omakotitalokohteissa on harvinaista tehdä kallioperän tutkimuksia ennen varsinaisen lämpökaivon poraamista, mutta tällaisen isomman kohteen ollessa kyseessä kallioperän tutkiminen on suositeltavaa ennen varsinaisten lämpökaivojen porausta. /3./

Maalämpöpumpun ollessa kyseessä on otettava huomioon, että osan lämmitysenergiasta maalämpöpumppu ottaa lämpökaivoista ja lopun osan se tuottaa sähköön avulla. Tällöin lämpökaivot mitoitetaan sen mukaan, mikä on tarvittava energiamäärä, kun kokonaislämpöenergian tarpeesta on vähennetty sähköenergian osuus. Lämpöpumpun kylmäkertoimen ollessa 4 maalämpöpumppu tuottaa lämmöstä $\frac{1}{4}$ sähköllä ja loput $\frac{3}{4}$

energiasta se ottaa lämpökaivosta. Lisäksi vuotuisesta tarvittavasta lämpöenergian määrästä voidaan vähentää noin 20 %, koska pumppu mitoitettiin osatehoiseksi. Tällöin lämpökaivosta tarvittava energiamäärä saadaan yhtälöllä 9. Osatehoisen maalämpöpumpun tarvitsemat energiamäärät lämpökaivoista ovat taulukossa 13.

$$Q_{\text{lämpökaivo}} = 0,8 * \frac{3}{4} * Q_{\text{asuinalue}} \quad (9)$$

missä $Q_{\text{asuinalue}}$ on asuinalueen kokonaislämmitysenergiantarve.

TAULUKKO 13. Lämpökaivosta tarvittava energiamäärä

Asuinalueen kokonaislämmitysenergiantarve MWh	Lämpökaivosta tarvittava energiamäärä MWh
326,5	195,9
385,8	231,5
445	267
504,3	302,6
563,6	338,2

Lämpökaivojen syvyydet voidaan mitoittaa kokemusperäisillä arvoilla, mikäli tarkempia mittaustuloksia kallioperästä ei ole saatavilla. Tässä työssä mitoitetaan lämpökaivot käyttäen arvoa väliltä 95 - 115 kWh, a/m, arvo perustuu kokemusperäisiin tuloksiin. Lämpökaivojen kokonaissyvyydet saadaan yhtälöllä 10. Lasketut lämpökaivojen kokonaissyvyydet ovat taulukossa 14.

$$\text{Lämpökaivojen kokonaissyvyys} = \frac{Q_{\text{lämpökaivo}}}{Q_{\text{lämpökaivometri}}} \quad (10)$$

missä $Q_{\text{lämpökaivo}}$ on lämpökaivosta tarvittava energiamäärä ja $Q_{\text{lämpökaivometri}}$ on lämpökaivosta vuodessa saatava energiamäärä yhtä metriä kohden.

TAULUKKO 14. Lämpökaivojen kokonaissyvyys

Lämpökaivosta saatava energia (kWh, a/m)	Lämpökaivoista tarvittava energiamäärä (MWh)				
	195,9	231,5	267	302,6	338,1
	Lämpökaivojen kokonaissyvyys (m)				
95	2062	2437	2811	3185	3600
100	1959	2315	2670	3026	3382
105	1866	2205	2543	2882	3221
110	1781	2104	2428	2751	3074
115	1704	2013	2322	2631	2940

Lämpökaivon kokonaissyvyys voidaan laskea keskiarvolla taulukon 14 saaduista arvoista, tässä esimerkkitapauksessa kaivon kokonaissyvyudeksi saadaan 2556 metriä. Lämpökaivojen lukumäärää laskettaessa on yhden lämpökaivonkaivon maksimi syvyydeksi määritetty 200 metriä, jolloin lämpökaivojen lukumäärä saadaan määriteltä yhtälön 11 avulla. Lasketut lämpökaivojen lukumäärät ovat taulukossa 15.

$$n_{\text{lämpökaivo}} = \frac{\text{Lämpökaivojen kokonaissyvyys}}{200 \text{ m}} \quad (11)$$

missä $n_{\text{lämpökaivo}}$ on lämpökaivojen lukumäärä.

TAULUKKO 15. Lämpökaivojen lukumäärä

Lämpökaivojen kokonaissyvyys (m)	Lämpökaivojen lukumäärä
1704	8
2013	10
2556	13
3185	16
3600	18

Tässä esimerkkitapauksessa lämpökaivojen lukumäärä valitaan aiemmin saadulla lämpökaivojen syvyydellä 2556 metriä, jolloin lämpökaivojen lukumääräksi saadaan 13 kappaletta. Viimeisen lämpökaivokaivon syvyydeksi tulee 160 metriä.

Yhdestä pisteestä voidaan porata enintään neljä lämpökaivoa, kun lämpökaivot porataan vinottain. Tällöin vaadittavat lämpökaivot voidaan porata yhteensä neljästä eri pisteestä, jolloin saadaan lämmönlähteiksi yhteensä 13 lämpökaivoa. Lämpökaivoja porataan 3x4 200 metrin syvyisiä lämpökaivoja ja yksi 160 metrin syvyinen lämpökaivo. Jokaiselle porauspisteelle tulee oma huoltokaivonsa eli yhteensä neljä huolto-

kaivoa. Lämpökaivojen eli geoenergiakentän tilantarve saadaan määriteltä taulukossa 1 esitettyjen minimietäisyyksien mukaan, taulukossa 16 on esitetty geoenergiakentän tilantarve. Lämpökaivoryhmät voidaan sijoittaa lukemattomiin erilaisiin muodostelmiin, josta aiheutuu paljon vaihtelua geoenergiakentän tilantarpeessa. Tässä esimerkkitapauksessa geoenergiakentän tilantarve on laskettu ainoastaan kahdella ääripään ratkaisulla. Lisäksi on muistettava, että tämä geoenergiakenttä on saatava mahtumaan tontille niin, että taulukossa 1 esiintyviin muihin kohteisiin suojaetäisyydet pysyvät sallittuina.

TAULUKKO 16. Geoenergiakentän tilantarve

Lämpökaivoryhmien sijoittelu	Geoenergiakentän tilantarve (m ²)
Neliössä	400
Peräkkäin	120

Yhdessä lämpökaivossa on yhteensä 2x lämpökaivon syvyys PEM 40 -keruuputkistoa, ja huoltokaivojen ja lämmönjakohuoneen välillä on esimerkkitapauksessa arviolta 100 - 200 metriä PEM 50 -keruuputkistoa. Jokaisessa huoltokaivossa on jakotukit lämpökaivojen keruupiireille eikä yhdestä huoltokaivosta mene kuin yksi meno- ja paluuputki maalämpöpumpuille. Keruupiirien putkimäärät ovat taulukossa 17.

TAULUKKO 17. Keruupiirien putkimäärät

Lämpökaivojen lukumäärä	PEM 40 Pituus (m)
8	3400
10	4040
13	5120
16	6360
18	7200

PEM 40 -keruuputken sisähalkaisija on 34 mm ja PEM 50 -keruuputken sisähalkaisija on 43 mm. Näiden halkaisijoiden ja keruuputkien pituuksien avulla pystytään laskemaan tarvittava lämmönsiirtoaineen määrä riittävän tarkasti yhtälöllä 12. Teknisessä tilassa olevaa lämmönsiirtoaineen määrää ei ole laskuissa huomioitu. Keruuputkistojen määrän ja koon perusteella lasket lämmönsiirtoaineiden määrät ovat taulukossa 18.

$$V_{keruupiiri} = \pi * r^2 * l_{keruu} \quad (12)$$

missä r on keruuputken sisäsäde ja l_{keruu} on keruuputken pituus.

TAULUKKO 18. Lämmönsiirtoaineen määrä

Keruuputken määrä (m)	Lämmönsiirtoaineen määrä (l)
PEM 40	
3400	3087
4040	3668
5120	4649
6360	5774
7200	6537
PEM 50	
100	152
200	304

9.3 Puskurivaraajan mitoitus

9.3.1 Mitoitustapa 1

Puskurivaraajan kokonaistilavuus mitoitetaan lämpimän käyttöveden kulutuksen mukaan ja henkilöiden lukumäärän mukaan. Yhtälöllä 13 lasketaan kokonaistilavuus varaajille, jossa laskenta-arvona on käytetty 75 - 100 litraa varaajatilavuutta henkilöä kohden [11]. Oletuksena on käytetty, että jokaisessa talossa asuisi 4 henkeä eli taloissa asuisi yhteensä 148 henkeä. Lämpimän käyttöveden kulutuksen mukaan lasketut varaajien kokonaistilavuudet ovat taulukossa 19.

$$V_{varaaja,kok.} = b * n_{henk.} \quad (13)$$

missä b on varaajatilavuus yhtä henkilöä kohden ja $n_{henk.}$ on henkilöiden lukumäärä.

TAULUKKO 19. Varaajien kokonaistilavuus

Henkilöiden lukumäärä	Varaajatilavuus henkilöä kohden (l/henk.)			
	75	80	90	100
	Varaajien kokonaistilavuus (l)			
148	11100	11840	13320	14800

Lämmönjakeluverkoston puskurivaraajan tilavuutta on lähdetty laskemaan ajatusmallilla, että edellä lasketusta varaajien kokonaistilavuudesta osa on asuntokohtaisissa varaajissa (223 litraa/talo) ja jäljelle jäävä varaajatilavuus on puskurivaraajan vaadittu tilavuus. Lämmönjakeluverkoston puskurivaraajan tilavuus on laskettu laskutoimituksella 14. Jakeluverkoston puskurivaraajan lasketut arvot ovat taulukossa 20.

$$V_{\text{puskurivaraaja}} = V_{\text{varaaja,kok.}} - V_{\text{varaaja,asunnot}} \quad (14)$$

missä $V_{\text{varaaja,kok.}}$ on varaajien laskettu kokonaistilavuus ja $V_{\text{varaaja,asunnot}}$ on asuinalueen asuntokohtaisten varaajien tilavuus.

TAULUKKO 20. Jakeluverkoston puskurivaraajan tilavuus

	Varaajien kokonaistilavuus (l)			
	11100	11840	13320	14800
Asuntokohtaiset varaajat (l)	Jakeluverkoston puskurivaraajan tilavuus (l)			
8251	2849	3589	5069	6549

9.3.2 Mitoitustapa 2

Toinen vaihtoehto on lähteä laskemaan puskurivaraajan tilavuutta aurinkokeräimien kautta. Mikäli halutaan hyödyntää aurinkoenergiaa mahdollisimman tehokkaasti, tulee tällöin varaajan tilavuus olla oikeassa suhteessa aurinkokeräimien pinta-alaan nähden. Varaajatilavuus voidaan valita pienemmäksi, jos käytetään tasokeräimiä, aurinkokeräimien suuntaus ei ole aivan etelä tai varaajan kuormitus on suuri myös kesällä. Suurempi varaaja valitaan, jos käytetään tyhjiöputkikeräimiä, keräimien suuntaus on etelään tai kesällä käytetään lämmittämiseen aurinkoenergian rinnalla toistakin lämmönlähdettä./6./

Varaajan tilavuus lasketaan yhtälön 15 avulla, jossa laskenta-arvona on käytetty 50 – 100 litraa varaajatilavuutta yhtä neliömetriä kohden /6/. Puskurivaraajan tilavuus on laskettu aurinkokeräimien pinta-alan ja varaajan tilavuus yhtä aurinkokeräimen neliömetriä kohden funktiona taulukkoon 21.

$$V_{\text{puskurivaraaja}} = A_{\text{aurinkokeräin}} * u \quad (15)$$

missä $A_{aurinkokeräin}$ on aurinkokeräimien pinta-ala ja u on varaajan tilavuus yhtä aurinkokeräimen neliometriä kohden.

Puskurivaraajan tilavuus on laskettu aurinkokeräimien pinta-alan ja varaajan tilavuus yhtä aurinkokeräimen neliometriä kohden funktiona taulukkoon 21.

TAULUKKO 21. Puskurivaraajan tilavuus aurinkokeräimien mukaan

Keräinala (m ²)	Varaajan tilavuus a.keräimen yhtä neliometriä kohden (l/m ²)					
	50	60	70	80	90	100
	Puskurivaraaja (l)					
2	100	120	140	160	180	200
4	200	240	280	320	360	400
8	400	480	560	640	720	800
10	500	600	700	800	900	1000
20	1000	1200	1400	1600	1800	2000
40	2000	2400	2800	3200	3600	4000
60	3000	3600	4200	4800	5400	6000
80	4000	4800	5600	6400	7200	8000
100	5000	6000	7000	8000	9000	10000

9.4 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimien vuosituotot lasketaan yhtälöllä 16. Aurinkokeräimien vuosituottona yhdelle neliometrille käytetään arvoa 700 – 800 kWh/m². Aurinkokeräimien vuosituotot on laskettu aurinkokeräimen vuosituotto neliometrille ja aurinkokeräinalan funktiona taulukkoon 22.

$$Q_{aurinkokeräin} = f * A_{aurinkokeräin} \quad (16)$$

missä f on aurinkokeräimen vuodessa tuottama lämpöenergianmäärä yhdelle neliometrille ja $A_{aurinkokeräin}$ on aurinkokeräimien pinta-ala.

TAULUKKO 22. Aurinkokeräimen vuosituotto

Keräinala (m ²)	Aurinkokeräimen vuosituotto neliömetrille (kWh/m ²)					
	700	720	740	760	780	800
	Aurinkokeräimen vuosituotto (kWh)					
2	1400	1440	1480	1520	1560	1600
4	2800	2880	2960	3040	3120	3200
8	5600	5760	5920	6080	6240	6400
10	7000	7200	7400	7600	7800	8000
20	14000	14400	14800	15200	15600	16000
40	28000	28800	29600	30400	31200	32000
60	42000	43200	44400	45600	46800	48000
80	56000	57600	59200	60800	62400	64000
100	70000	72000	74000	76000	78000	80000

Aurinkokeräimien tuotto kesäajalle (3 kuukautta) lasketaan yhtälöllä 16. Aurinkokeräimen tuotto kesäajalla yhdelle neliömetrille on saatu kallistuskulmilla 30 - 60°, suuntauksena etelä ja aurinkokeräimen hyötysuhteena on käytetty arvoa 80 %. Aurinkokeräimien kesäajantuotot on laskettu aurinkokeräimen kesäajantuotto neliömetrille ja aurinkokeräinalan funktiona taulukoon 23.

TAULUKKO 23. Aurinkokeräimen tuotto kesäajalla (kWh)

Keräinala (m ²)	Aurinkokeräimen tuotto kesäajalla neliömetrille (kWh/m ²)				
	370	390	400	420	440
	Aurinkokeräimen tuotto kesäajalla (kWh)				
2	740	780	800	840	880
4	1480	1560	1600	1680	1760
8	2960	3120	3200	3360	3520
10	3700	3900	4000	4200	4400
20	7400	7800	8000	8400	8800
40	14800	15600	16000	16800	17600
60	22200	23400	24000	25200	26400
80	29600	31200	32000	33600	35200
100	37000	39000	40000	42000	44000

Lämmönsiirtoaineen virtaama aurinkokeräimille lasketaan yhdellä tasaisella virtaamalla yhtälöllä 17. Virtaama lämmönsiirtoaineelle yhtä aurinkokeräin neliometriä kohden on käytetty 30 - 36 l/hm². Lämmönsiirtoaineen virtaamat aurinkokeräimille on laskettu aurinkokeräinalan ja lämmönsiirtoaineen virtaama aurinkokeräinalaa kohden funktiona taulukoon 24.

$$q_{v,aurinkokeräimet} = o * A_{aurinkokeräin} \quad (17)$$

missä o on aurinkokeräimille menevä virtaama yhtä aurinkokeräimen neliömetriä kohden ja $A_{aurinkokeräin}$ on aurinkokeräimien pinta-ala.

TAULUKKO 24. Lämmönsiirtoaineen virtaama aurinkokeräimille

Virtaama / keräinala (l/hm ²)	Aurinkokeräinala (m ²)						
	8	10	20	30	40	60	100
	Lämmönsiirtoaineen virtaama a.keräimille (l/hm ²)						
30	240	300	600	900	1200	1800	3000
32	256	320	640	960	1280	1920	3200
34	272	340	680	1020	1360	2040	3400
36	288	360	720	1080	1440	2160	3600

10 TULOKSET

Kaikki laskelmissa saadut lämmitysenergiantarpeet on taulukossa 25 vaihteluväleinen. Taulukossa on eriteltynä lämpimän käyttöveden lämmitys, huonetilojen lämmitys sekä kosteiden tilojen lämmitys. Tuloksissa on eritelty saadut arvot koko vuodelle sekä kesäajalle ja yhdelle talolle sekä koko asuinalueelle.

TAULUKKO 25. Lämmitysenergiantarpeet

TARKASTELUKOHTA	Tulos	Vaihteluväli
1 Matalaenergiatalo (huoneistoala 150 m², 4 henk.)		
1 Vuosi		
Huoneistotilojen lämmitys, kWh	7500	± 1500
Lämpimän käyttöveden lämmitys, kWh	4258	± 1704
Huoneistotilojen lämmitys + lämpimän käyttöveden lämmitys, kWh	11758	± 3204
Kosteiden tilojen lämmitys, kWh	975	± 195
Kesä		
Kosteiden tilojen lämmitys, kWh	244	± 49
Lämpimän käyttöveden lämmitys, kWh	1065	± 426
Kosteiden tilojen lämmitys + lämpimän käyttöveden lämmitys, kWh	1309	± 475
Asuinalue (37 taloa + lämmönjakeluverkosto)		
1 Vuosi		
Talojen lämmitys + lämpimän käyttöveden lämmitys + lämmönjakeluverkon häviöt, MWh	445	± 119
Kesä		
Kosteiden tilojen lämmitys + lämpimän käyttöveden lämmitys + lämmönjakeluverkon häviöt, kWh	50933	± 17575
Kosteiden tilojen lämmitys + lämmönjakeluverkon häviöt, kWh	11528	± 1813
Lämpimän käyttöveden lämmitys, kWh	39405	± 15762

Koko asuinalueen päälämmintuottojärjestelmä eri osa-alueineen on taulukoitu taulukoon 26 vaihteluväleineen. Tulokset ja vaihteluvälit ovat laskelmaosiosta saatuja arvoja. Puskurivaraajan tilavuus on laskettu kahdella eri tavalla, jossa tapa yksi on laskettu asukkaiden mukaan ja tapa kaksi on laskettu aurinkokeräimien pinta-alojen mukaan.

TAULUKKO 26. Päälämmöntuottojärjestelmä

TARKASTELUKOHTA	Tulos	Vaihteluväli
Päälämmöntuottojärjestelmä		
Maalämpöpumppu (täystehomitoitus), kW	179	± 66
Maalämpöpumppu (osatehomitoitus), kW	123	± 40
Lämpökaivosta tarvittava energiamäärä (osateho), MWh	267	± 71
Lämpökaivojen kokonaissyvyys (osateho), m	2556	± 852
Lämpökaivojen lukumäärä (osateho), kpl	13	± 5
Geoenergiakentän tilantarve, m ²	260	± 140
PEM 40 keruuputken määrä, m	5280	± 1920
PEM50 keruuputken määrä, m	150	± 50
Lämpökaivojen keruupiirien lämmönsiirtoaineen määrä, l	4971	± 1870
Puskurivaraajan tilavuus (tapa 1), l	4514	± 2035
Puskurivaraajan tilavuus (tapa 2), l aurinkokeräinten pinta-ala (m ²) ↓	↓	↓
2	150	± 50
4	300	± 100
8	600	± 200
10	750	± 250
20	1500	± 500
40	3000	± 1000
60	4500	± 1500
80	6000	± 2000
100	7500	± 2500

Aurinkokeräimien energiantuotot vaihteluväleineen kesäajalle ja koko vuodelle on taulukossa 27. Taulukossa 27 on lisäksi lämmönsiirtoaineen virtaama eri aurinkokeräinpinta-aloille.

TAULUKKO 27. Aurinkolämpöjärjestelmä

TARKASTELUKOHTA	Tulos	Vaihteluväli
Aurinkolämpöjärjestelmä		
Aurinkokeräinala (m²)	Aurinkokeräimen vuosituotto (kWh)	
2	1500	± 100
4	3000	± 200
8	6000	± 400
10	7500	± 500
20	15000	± 1000
40	30000	± 2000
60	45000	± 3000
80	60000	± 4000
100	75000	± 5000
Aurinkokeräinala (m²)	Aurinkokeräimen tuotto kesäajalla (kWh)	
2	808	± 72
4	1616	± 144
8	3232	± 288
10	4040	± 360
20	8080	± 720
40	16160	± 1440
60	24240	± 2160
80	32320	± 2880
100	40400	± 3600
Aurinkokeräinala (m²)	Lämmönsiirtoaineen virtaama aurinkokeräimille (l/hm²)	
8	264	± 24
10	330	± 30
20	660	± 60
30	990	± 90
40	1320	± 120
60	1980	± 180
100	3300	± 300

11 AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN KOHTEESSA

11.1 Tasokeräimet maanpinnalla

Tasokeräimet asennetaan maanpinnalle yhdeksi isoksi kokonaisuudeksi, jossa tasokeräimet ovat etelän suuntaan ja 60° kulmassa. Tasokeräinten kokonaispinta-alaksi vali-

taan esimerkki kohteessa 60 m², joka tarkoittaa yhteensä 30 kappaletta 2 neliömetrin tasokeräintä. Tasokeräimet kytketään kolmen keräimen identtisiin sarjoihin ja sarjat kytketään keskenään rinnan. Lämmönsiirtoaineen meno- ja paluulinjat tasokeräimien ja pumppuyksikön välillä tulisi säilyttää mahdollisimman lyhyenä varmistaakseen mahdollisimman vähäiset lämpöhäviöt.

Pumppuyksikkö kierrättää lämmönsiirtoainetta tasokeräimien ja lämmönsiirtimen välillä. Lämmönsiirtimiä tulisi olemaan aurinkojärjestelmässä vähintään kaksi, päälämmönsiirrin 5000 litran puskurivaraajan yhteydessä ja toinen lämmönsiirrin maalämpöpumpun keruupiirin menojohdon yhteydessä. Lisäksi tarvitaan venttiiliryhmät pumppuyksikön ja lämmönsiirtimien välille, venttiileillä ohjataan lämmönsiirtoaine eri tilanteissa halutulle lämmönsiirtimelle.

Tasokeräimillä auringosta kerättyä lämpöä ohjataan puskurivaraajan lämmönsiirtimelle niin paljon kuin mahdollista. Kesäaikana mahdollinen tasokeräimistä saatava ylimääräinen lämpö ohjataan maalämpöpumpun keruupiirin menojohdon lämmönsiirtimelle, jolla pyritään varastoimaan ylimääräistä lämpöä lämpökaivoihin kylmempien ajanjaksojen varalle.

Kolmannen lämmönsiirtimen voisi sijoittaa maalämpöpumpun keruupiirin paluujohdon yhteyteen, johon tasokeräimissä virtaava lämmönsiirtoaine ohjattaisiin vuoden aikoina, jolloin on kylmempää ja auringosta saatavat energiamäärät päivässä olisivat pieniä. Tällaisina vuodenaikoina maalämpöpumput ovat huomattavasti enemmän päällä kuin kesäaikaan, jolloin olisi hyvä selvittää, että saavutetaanko sillä isompi hyöty, kun vähäisillä tasokeräimistä saatavilla lämpömäärillä pyritäisiin nostamaan enemmän maalämpöpumpulle menevän lämmönsiirtoaineen lämpötilaa kuin nostamalla puskurivaraajan veden lämpötilaa. Kesäaikana ei ole kannattavaa ohjata auringosta saatavaa lämpöenergiaa suoraan maalämpöpumpuille, koska maalämpöpumppujen käyttötarve on tällöin matala ja auringosta saatava lämpöenergianmäärä on suuri.

11.2 Tasokeräimet talojen katoilla

Mikäli asuinalueelta ei löydy yhtä vapaata ja sopivaa aluetta tasokeräimille tai yhtä isoa tasokeräinaluetta ei haluta ulkonäöllisistä syistä asuinalueelle, toinen vaihtoehto

on asentaa aurinkokeräimet talojen katoille ja ketjuttaa yhtenäiseksi piiriksi. Eroavaisuutena olisi, että puskurivaraajan sijaan auringosta saatavaa lämpöenergiaa ohjattaisiin suoraan jokaisen talon omaan varaajaan ja kesällä yllilämpö siirrettäisiin erillisellä ja yhteisellä verkostolla maalämpöpumppujen keruupiirin menojohdtoon ja näin ladattaisiin lämpökaivoja. Tällöin asuntokohtaiset varaajat tulisi olla alkuperäistä 230 litraa isommat ja samalla puskurivaraaja voisi olla pienempi. Mikäli esimerkiksi jokaisen talon katolle asennettaisiin yksi aurinkokeräin eli kaksi neliometriä aurinkokeräinpinta-alaa, niin tekisi se tällöin asuinalueelle yhteensä 74 neliometriä aurinkokeräinpinta-alaa.

Hyvänä puolena tässä vaihtoehdossa on, että aurinkokeräimet saataisiin sulautettua maa-asennusta paremmin asuinalueen ympäristöön eikä tarvitsisi varata aurinkokeräimille yhtä suurta aluetta. Huonona puolena vastaavasti on, että lämpökaivojen aurinkoenergialla lataamista varten täytyisi talojen ja keskitetyn maalämpöjärjestelmän välille rakentaa erillinen verkosto, jolloin putkiston pituus kasvaisi suureksi ja putkiston lämpöhäviöiden määrä kasvaisi maa-asennukseen verrattuna. Tässä vaihtoehdossa jätetään maa-asennuksessa esitetty kolmas lämmönsiirrin pois. Mielestäni ei ole järkeä hukata kylmempinä vuodenaikoina auringosta saatua vähäistä lämpöenergiaa asuntojen ja maalämpöpumppujen välisen verkoston lämpöhäviöihin. Kattoasennus on vain esimerkkinä, että näinkin järjestelmä on mahdollista toteuttaa, mutta se on vasta vaihtoehtona maa-asennuksen jälkeen, koska lämmönsiirtoverkosto aurinkokeräimien ja lämmityskohteen välillä tulee aina pyrkiä pitämään mahdollisimman lyhyenä eikä esimerkkikohteessa haluta lämmitellä aurinkoenergialla pelkästään käyttövetä vaan tulee sitä pystyä hyödyntämään myös maalämpöjärjestelmässä.

12 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulosten perusteella voidaan todeta, että auringosta saadaan paljon lämmitysenergiaa, mikäli ollaan valmiita investoimaan aurinkokeräimiin. Tarvittavat keräinpinta-alat kasvavat suuriksi tämän kokoisessa kohteessa. Mikäli halutaan kattaa tarkastellun asuinalueen vuotuisesta lämmitysenergiantarpeesta kymmenen prosenttia auringosta saatavalla energialla, tarvitaan aurinkokeräinpinta-alaa noin 60 neliometriä. Tämä neliömäärä aurinkokeräinpinta-alaa kattaisi kesäaikana kokonaan asuinalueen kaikkien talojen kosteiden tilojen lämmitysenergiantarpeen sekä lisäksi 33 prosenttia asuin-

alueen lämpimän käyttöveden lämmittämisestä. Vaihtoehtoisesti tämä neliömäärä aurinkokeräin-pinta-alaa kattaisi kesäaikana 62 prosenttia asuinalueen lämpimän käyttöveden lämmittämisestä.

Mikäli aurinkoenergialla halutaan kesäaikana kattaa kokonaan lämpimän käyttöveden lämmitys, tarvittaisiin aurinkokeräinpinta-alaa yhteensä alueelle 100 neliometriä ja puskurivaraajan tilavuudeksi tulisi tällöin 8000 litraa. Tässä on syytä huomioida, että kesäaikaan ihmiset pitävät kesälomia eivätkä välttämättä ole läheskään kaikkea aikaa kesästä omalla asunnollaan. Tämä laskee asuinalueen lämpimän käyttöveden kulutusta ja kesäajan lämmitysenergian tarvetta. Ei siis ole kannattavaa yrittää kattaa asuinalueen kaikkea lämpimän käyttöveden lämmitystä aurinkoenergialla.

Yhdeksi suurimmaksi ongelmaksi tällaisen järjestelmän sovittamisessa kyseessä olevalle asuinalueelle tulee koko lämmitysjärjestelmän tilantarve ja sopivan paikan löytäminen järjestelmälle kaavoitusalueelta. Lämmitysjärjestelmän 13 lämpökaivoa vaativat tilaa vähintään 120 neliometriä ja esimerkkinä käytetyt aurinkokeräimet 60 - 100 neliometriä. Tässä tapauksessa lämpökaivot määräävät tilantarpeen, koska aurinkokeräimet voidaan asentaa samalle alueelle kuin lämpökaivot. Lisäksi lämpöpumput, varaaaja sekä kaikki muu lämmöntuottoon ja lämmönjakeluun tarvittava tekniikka tulisi pystyä sijoittamaan aurinkokeräimien ja lämpökaivojen läheisyyteen erilliseen tekniseen tilaan. Asuinalueen kaavoitusvaiheessa tulisi olla tiedossa, että tällainen lämmöntuotto ja lämmönjakeluverkosto on tulossa kyseiselle asuinalueelle, jotta voitaisiin varata järjestelmille tarpeeksi tilaa. Pelkkä tilakaan ei vielä riitä aurinkokeräimille vaan tilan sijainti tulee olla sellainen, että keräimien suuntaaminen etelään päin onnistuu ilman varjostuksia vähintään seuraavat 20 – 30 vuotta.

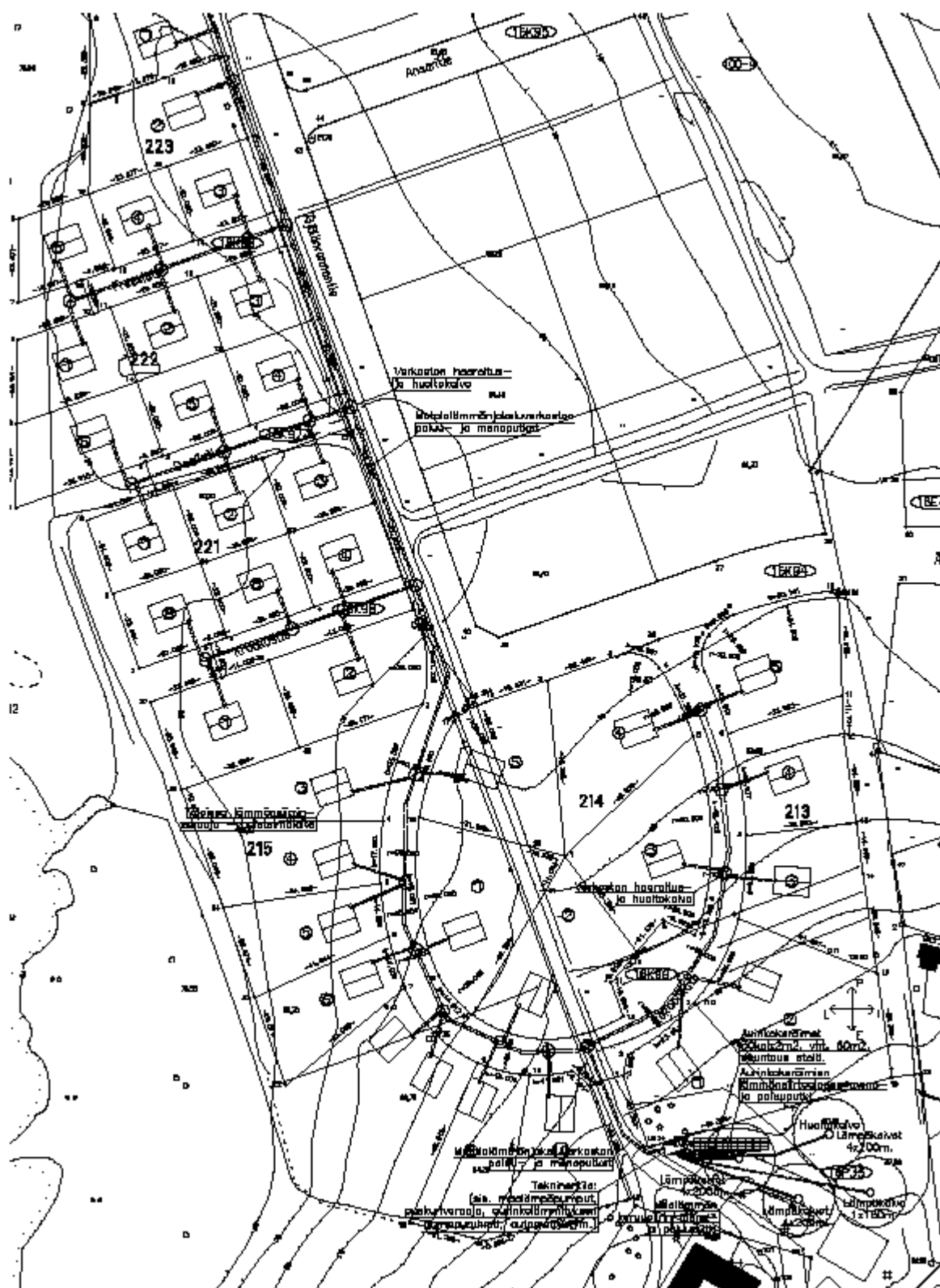
Lopullisiin lämmitysenergian tarpeiden sekä päälämmöntuottojärjestelmän tuloksiin muodostui suuret vaihteluvälit, joka johtuu tarkastelukohteen todella useasta muuttujasta sekä monesta lämmitysjärjestelmän eri osa-alueesta. Huomionarvoinen asia on myös maalämpöpumppujen teho, kun mitoitetaan osa- tai täystehoiseksi maalämpöpumput. Tämän kokoisessa kohteessa maalämpöpumppujen eroksi kahdella eri mitoistustavalla muodostui 50 kilowattia.

Aurinkoenergian hyödyntämisessä lämmityksessä Suomessa on aina ollut sama ongelma, nimittäin pitkä ja pimeä talvi. Talviaikaan tarkastelu asuinalueen lämmitysenergian tarve on suurimmillaan, marraskuun alusta tammikuun loppuun asti lämmitysenergian tarve on yhteensä 111 MWh. Samalla ajanjaksolla Jyväskylässä auringon säteily määrä on puolestaan kaikista vähäisintä. Marraskuun alusta tammikuun loppuun auringon säteilyenergian määrä Jyväskylässä on yhteensä enimmillään 20 kWh yhdelle neliömetrille eli 60 aurinkokeräin neliömetrille saadaan auringon säteilyenergiaa yhteensä 1200 kWh. Tällöin auringosta saatava lämmitysenergian määrä 3 kuukauden aikana jää hieman alle yhden prosentin koko asuinalueen lämmitysenergiatarpeesta.

Lähtökohtana oli, että tavoitellaan mahdollisimman matalapäästöistä ratkaisua. Tämä huomioiden voidaan todeta, että aurinkoenergian käyttö on kannattavaa, mitä enemmän se korvaa maalämpöpumpun käyttötarvetta. Mitä enemmän maalämmöllä tuotusta energiasta voidaan korvata aurinkoenergialla, sitä matalammaksi saadaan sähkön energiankulutusta ja päästöjä. Tällöin päästään ympäristöystävällisempään ratkaisuun, koska aurinkoenergian hyödyntäminen lämmityksessä kuluttaa murto-osan sähköenergiaa verrattuna maalämpöpumppuihin.

LÄHTEET

- /1/ Vehviläinen, Iivo 2010. Käyttäjälähtöiset lähienergiapalvelut aluerakentamisessa, lähienergia- hankkeen loppuraportti. PDF- dokumentti. Yrityksen www-sivut. <http://www.sitra.fi>. Ei päivitystietoa. Luettu 18.12.2011.
- /2/ Havainnekuva rakennettavasta asuinalueesta. WWW- dokumentti http://www3.jkl.fi/blogit/asuntomessut/?page_id=9. Luettu 19.2.2012.
- /3/ Juvonen, Janne 2009. Lämpökaivo, maalämmön hyödyntäminen pientaloissa, Suomen Ympäristökeskus. Ympäristöopas. PDF-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=382946&lan=FI>. Päivitetty 26.4.2011 Luettu 18.12.2011.
- /4/ Erkkilä, Vesa. Aurinkolämpöopas rakentajille ja suunnittelijoille. Helsinki: Sarma-la Oy / Rakennusalan Kustantajat RAK. 2003.
- /5/ Aittomäki, Antero 2001. Lämpöpumppulämmitys. PDF- dokumentti. Luettu 20.1.2012.
- /6/ Bruno, Erat. Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkotekni-linen Yhdistys ry. 2008.
- /7/ Tahkokorpi, Markku 2011. Aurinkolämmön mahdollisuudet kaukolämpöjärjes-telmässä. PDF- dokumentti. Energiateollisuus ry. http://www.energia.fi/sites/default/files/aurinkokaukolammon_mahdollisuudet_gaia_2011.pdf. Päivitetty 22.11.2011. Luettu 10.1.2012.
- /8/ Viessmann Werke, 2008. Technical guide, solar thermal systems. PDF- dokumentti. Luettu 19.2.2012.
- /9/ D5, Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriön asetus 2007. Ra-kennuksen energiankulutuksen ja lämmitystarpeen laskenta, ohjeet. Helsinki: ympäris-töministeriö, asunto- ja rakennusosasto. <http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>. Luettu 19.2.2012.
- /10/ Nieminen, Jyri. Energiatehokas rakentaminen. VTT. PDF- dokumentti. Luettu 14.3.2012.
- /11/ Jodat, Timo 2011. Ympäristöenergia, ympäristöenergian aurinkolämpöjärjestel-mä- opas 2011. PDF- dokumentti. Luettu 19.2.2012.
- /12/ Arha, Ilkka 2012. Puhelinhaastattelu 12.4.2012. Myyntipäällikkö. Savosolar Oy.
- /13/ Järvinen, Jouni 2012. Haastattelu 13.4.2012. Toimitusjohtaja. Solartukku Oy.



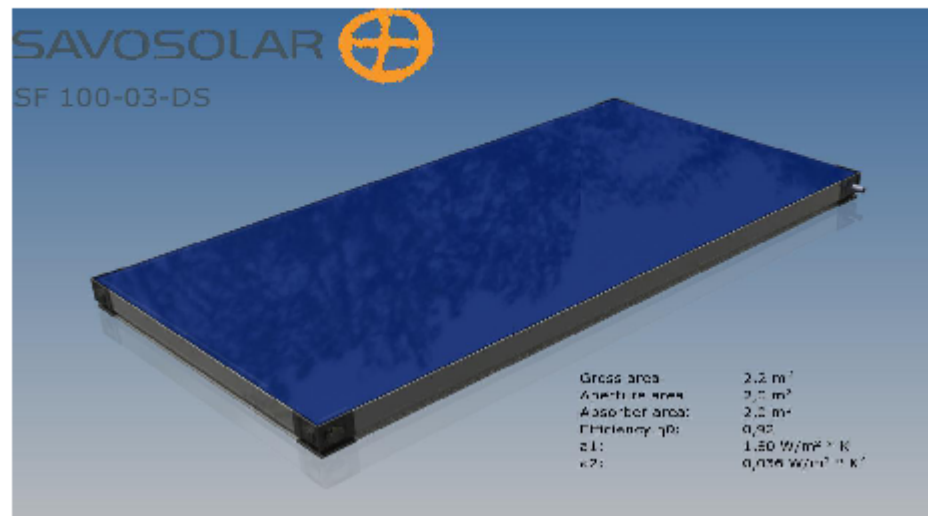
HAASTATTELUN KYSYMYKSET

1. Mistä kiinnostus heräsi aurinkoenergiaa kohtaan?
2. Mikä on tyypillisin kohde tällä hetkellä, jossa aurinkoenergiaa hyödynnetään?
3. Kuinka paljon aurinkoenergiaa hyödynnetään tällä hetkellä Suomessa?
4. Kuinka paljon aurinkoenergiaa olisi mahdollista hyödyntää nykyajan rakennuksissa ja kuinka paljon aurinkoenergian hyödyntäminen on lisääntynyt / lisääntyy nykyajan rakennuksissa?
5. Minkälaiset kohteet soveltuvat parhaiten aurinkoenergian hyödyntämiseen?
6. Mitkä asiat on tärkeää huomioida, kun lähdetään suunnittelemaan aurinkoenergian hyödyntämistä kohteeseen?
7. Mitkä asiat ovat suurimpia ongelmakohtia, kun pyritään hyödyntämään Suomen olosuhteissa aurinkoenergiaa?
8. Aurinkokeräimiä vertailtaessa, mitkä ovat taso- ja tyhjiöputkikeräimien hyvät ja huonot puolet?
9. Kuinka paljon aurinkokeräimiä pystytään vielä kehittämään tekniikaltaan nykyiseen verrattuna?
10. Kuinka paljon aurinkokeräimien tilantarve aiheuttaa ongelmia, varsinkin isommissa kohteissa?
11. Onko joku päälämmöntuottojärjestelmä sellainen, minkä yhteydessä aurinkoenergiaa pystytään hyödyntämään huomattavasti paremmin kuin muiden päälämmöntuottojärjestelmien yhteydessä?

Haastattelun kysymykset

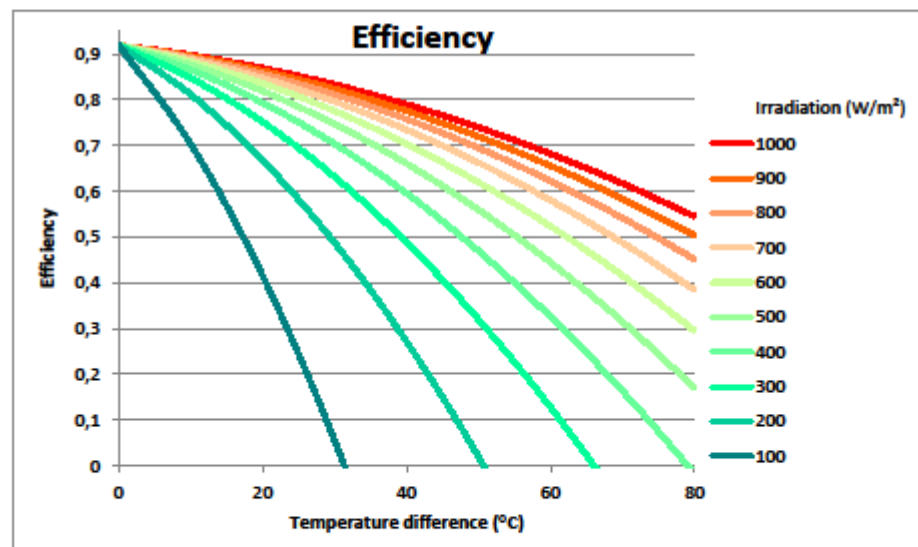
12. Pystytäänkö tällä hetkellä auringosta saatua lämpöenergiaa varastoimaan pitempiai-
kaisesti?
13. Aurinkoenergian hyödyntäminen kaukolämmityksessä?
14. Kumpi on huonompi vaihtoehto, liian pieni vai liian suuri varaaja aurinkolämpö-
järjestelmän yhteydessä?
15. Onko tietoa, että käytetäänkö tällä hetkellä Suomessa enemmän tyhjiöputkike-
räimiä vai tasokeräimiä?

SAVOSOLAR SF 100 - 03 hyötysuhde- ja tehokäyrät



Tested by: Solar Simulator Finland

		Efficiency Curves								
		Temperature difference between ambient air and absorber (°C)								
Solar irradiation (W/m²)		0	10	20	30	40	50	60	70	80
	100	0,92	0,70	0,42	0,06					
	200	0,92	0,81	0,67	0,49	0,27	0,02			
	300	0,92	0,85	0,75	0,63	0,49	0,32	0,13		
	400	0,92	0,87	0,79	0,70	0,60	0,47	0,33	0,16	
	500	0,92	0,88	0,82	0,75	0,66	0,56	0,44	0,32	0,17
	600	0,92	0,88	0,84	0,78	0,70	0,62	0,52	0,42	0,30
	700	0,92	0,89	0,85	0,80	0,73	0,66	0,58	0,49	0,39
	800	0,92	0,89	0,86	0,81	0,76	0,70	0,62	0,54	0,45
	900	0,92	0,90	0,86	0,82	0,78	0,72	0,66	0,58	0,50
	1000	0,92	0,90	0,87	0,83	0,79	0,74	0,68	0,62	0,55



SAVOSOLAR SF 100 - 03 hyötysuhde- ja tehokäyrät

SF 100-03-DS

Solar irradiation (W/m ²)	Power per square meter								
	Temperature difference between ambient air and absorber (°C)								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
100	92	70	42	6					
200	184	162	134	98	54	4			
300	276	254	226	190	146	96	38		
400	368	346	318	282	238	188	130	66	
500	460	438	410	374	330	280	222	158	86
600	552	530	502	466	422	372	314	250	178
700	644	622	594	558	514	464	406	342	270
800	736	714	686	650	606	556	498	434	362
900	828	806	778	742	698	648	590	526	454
1000	920	898	870	834	790	740	682	618	546

